

NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING

Blindern

O-70112

TELEMARKVASSDRAGET

HOVEDRAPPORT FRA UNDERSØKELSENE I PERIODEN 1975-1979

Blindern, august 1979

Saksbehandler: Hans Holtan

Medarbeidere: Sigurd Rognerud

Dag Berge

Morten Johannessen

Instituttetsjef: Kjell Baalsrud

NIVA - RAPPORT

Norsk institutt for vannforskning  NIVA

Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Forskningsråd

Postadresse:
Postboks 333, Blindern
Oslo 3

Brekke 23 52 80
Gaustadalleen 46 69 60
Kjeller 71 47 59

Rapportnummer: 0-70112
Undernummer: V
Løpenummer: 1147
Begrenset distribusjon:

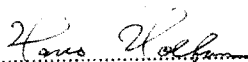
Rapportens tittel: TELEMARKVASSDRAGET Hovedrapport fra undersøkelsene i perioden 1975-1979	Dato: 15. august 1979
	Prosjektnummer: 0-70112
Forfatter(e): Sigurd Rognerud Telemark Distriktshøyskole Dag Berge NIVA Morten Johannessen NIVA	Faggruppe:
	Geografisk område: Telemark
	Antall sider (inkl. bilag): 82

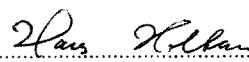
Oppdragsgiver: Telemark fylke. Undersøkelsen er gjennomført som samarbeidsprosjekt mellom Telemark Distriktshøyskole og NIVA	Oppdragsg. ref. (evt. NTNf-nr.):
--	----------------------------------

Ekstrakt: Rapporten beskriver forurensningstilstanden i Telemarksvassdraget med hovedvekt på vassdragets nedre deler - Heddalsvatn og Norsjø med tilstøtende elver. Basert på tilførsels- og avløpsanalyser samt spesialstudium av nedbør og jordbruksavrenning, er fosforbelastning, fosforavløp og fosforrentensjon beregnet. Innsjøene er plassert i fosforbelastningsmodell hvor innsjøenes utvikling i relasjon til økt/minket fosforbelastning anskueliggjøres.
--

4 emneord, norske:
1. Eutrofiering
2. Fosfortilførsler
3. Fosforbelastningsmodell
4. Telemarksvassdraget

4 emneord, engelske:
1. Eutrophication
2. Phosphorus loading
3. Phosphorus loading model
4. The Telemark watercourse


Prosjektleders sign.:


Seksjonsleders sign.:


Instituttetsjefs sign.:

ISBN 82-577-0202-1

INNHALDSFORTEGNELSE

	Side:
FORORD	7
1. INNLEDNING	8
2. GEOLOGI I NEDBØRFELTET	8
3. INNSJØENES LIMNOLOGISKE TILSTAND	9
Generelt om vannkjemi	9
Hovedioner samt nitrogen	10
Konduktivitet	10
Nitrogenforbindelser	10
Alkalinitet og pH	12
Hovedioner	12
Vannets prosentvise ionesammensetning	12
Fosfor, kloryfull og siktedyp	14
Algebiomassens sesongvariasjon samt eventuell utviklingstendens i undersøkelsesperioden	19
Kvantitativt og kvalitativt planteplankton	20
Planteplanktonets primærproduksjon	22
Dyreplankton	23
Sedimentasjon	28
Oksygen	30
4. ELVER	31
Kjemi	31
Nitrogen	31
Fosfor	31
Tilløpselver til Tinnsjøen	32
Tilløpselver til Heddalsvatn og Norsjø	32
Biologiske undersøkelser i elver	33
Begroing	33
Bunndyrundersøkelser	34
Generelt	34
Undersøkelser i 1978	34
Konklusjoner fra bunndyrundersøkelsene i 1976	36
5. BAKTERIOLOGISKE UNDERSØKELSER	37
Generelle kommentarer	37

	Side:
6. ATMOSFÆRISKE FOSFORTILFØRSLER	42
7. AVRENNING AV FOSFOR OG PARTIKULÆRT MATERIALE FRA TYPEOMRÅDER	46
Materiale og metoder	46
Beskrivelse av typeområdene	47
Resultater og diskusjon	48
Fosfor	48
Sammenligning med andre undersøkelser	49
Hvor stor del av fosforeksporte fra jordbruks- omtåder kommer fra dyr/mennesker, og hvor mye kommer fra dyrket mark?	50
Fosforeksportens variasjon over året	51
Hydrologisk budsjett og fosfor- budsjett i fem skognedbørfelt	52
Partikulært materiale	53
8. FOSFORTILFØRSLER	54
Heddalsvatn	55
Norsjø	56
Tinnsjøen	58
Seljordsvatn	58
Sundkilen	59
9. FOSFORBELASTNINGSMODELL	60
Regneeksempler	66
Kommentarer til modellene	68
10. KONKLUDERENDE SAMMENDRAG	69
Tilstanden i vassdragets innsjøer	70
Tilstanden i vassdragets elver	71
11. LITTERATURREFERANSER	72
APENDIKS - TABELLER A1 - A9	76-82

TABELLFORTEGNELSE

	Side:
1. Oversikt over gjennomsnittsalgebiomasse i sommer- sesongen fra Bandak, Norsjø og Heddalsvatn og til sammenligning fra Mjøsa, Tyrifjorden og Eikeren	21
2. Oversikt over planteplanktonets primærproduksjon fra Bandak, Norsjø og Heddalsvatn, og til sammeligning fra Tyrifjorden og Mjøsa	22
3. Artsliste over dyreplanktonet i de undersøkte innsjøene	24
4. Atmosfæriske fosfortilførsler i perioden 10/10-77 til 10/10-78 på de angitte stasjoner	43
5. Oversikt over atmosfærisk fosfortilførsel referert ved tidligere undersøkelser	43
6. Total årlig fosfortilførsel, og atmosfærisk tilførsel direkte på innsjøoverflaten	45
7. Oversikt over fosforeksportkoeffisienter fra skog- områder og fra jordbruksområder referert ved tidligere undersøkelser	50
8. Hydrologisk budsjett og fosforbudsjett for 5 nedbørfelt bestående av skog/myr	53
9. Fosfortilførsler til Heddalsvatn 1977-1978	55
10. Fosfortilførsler til Norsjø 1977-1978	57
11. Oversikt over fosfortilførsler til Sundkilen ved nåværende situasjon og ved en tenkt situasjon uten reguleringsinngrep i nedbørfeltet	59
12. Grenser for henholdsvis akseptabel, betenkelig og kritisk tilstand i store sjiktede innsjøer	65

FIGURFORTEGNELSE

	Side:
1. Middelkonsentrasjoner av en del kjemiske komponenter	11
2. Prosentvis sammensetning av anioner (meq %)	13
3. Sammenhengen mellom nitrat og bikarbonat (som meq %) i Øst-Telemarkvassdraget	14
4. Middelerdien av algemengde (klorofyll a) i perioden juni-oktober som funksjon av total fosfor i epilimnion i en del store øst-norske innsjøer	15
5. Middelkonsentrasjonen av total-fosfor i sommerhalvåret fra de angitte innsjøer	16
6. Middelkonsentrasjonen av total klorofyll a i perioden juni-oktober fra de angitte innsjøer	16
7. Midlere siktedyp i undersøkelsesperioden fra de angitte innsjøer	16
8. Sammenhengen mellom siktedyp og algemengde (klorofyll a) i epilimnion i perioden juni-oktober (se tabell A3)	18
9. Variasjon i sommerhalvåret av algemengde (klorofyll a) i de angitte innsjøer	19
10. Næringskjeden i de frie vannmasser	23
11. Zooplanktonets livssyklus her illustrert ved vannloppen Daphnia - 3 generasjoner er vist	25
12A. Zooplanktonbiomasser pr. m ² i sjiktet 0-20 m i perioden juni-oktober 1977	26
12B. Den relative fordeling av algespisere og rovformer i samme periode	26
13. Zooplanktonbiomasse pr. m ² i sjiktet 0-10 m i perioden juni-oktober 1977	27
14. Sedimentasjon av fosfor, klorofyll og partikulært materiale ved en stasjon i nordre del (HØ), og en stasjon i søndre del (HN) av Heddalsvatn i en periode på forsommeren og en perioden midtsommers 1977	28
15. Sedimentasjonsforløpet ved stasjonen i søndre del av Heddalsvatn (37 m dyp) i perioden juni-oktober 1977	29
16 og 17. Dybde/tid diagram over oksygenmetningen (%) i hypolimnion i perioden juni-oktober 1977 for Heddalsvatn og Norsjø	30
18. Middelkonsentrasjoner av total-fosfor og fosforfraksjoner i de angitte elver	32
19. Summen av steinfluelarver og knottlarver som prosent av totalt bunndyrantall på de angitte stasjoner i april 1978	35
20. Antall coliforme og fekale bakterier pr. 100 ml vann ved prøvetakingsstasjonene i delnedbørfelt I i Telemarkvassdraget	38

Figurfortegnelse fortsatt:	Side:
21. Antall coliforme og fecale bakterier 100 ml vann ved prøvetakingsstasjonene i delnedbørfelt II i Telemarkvassdraget	39
22. Antall coliforme og fecale bakterier pr. 100 ml vann ved prøvetakingsstasjonene i delnedbørfelt III i Telemarkvassdraget	40
23. Antall coliforme og fecale bakterier pr. 100 ml vann ved prøvetakingsstasjonene i delnedbørfelt IV i Telemarkvassdraget	41
24. Månedlig atmosfærisk fosfortilførsel og månedlige nedbørmengder i perioden oktober 1977 - oktober 1978	44
25. Månedlig fosfortilførsel som funksjon av nedbørmengde	44
26. Oversikt over delnedbørfeltene beliggenhet i Bødalen	47
27. Midlere eksport av fosfor og partikulært materiale fra 6 nedbørfelter bestående av skog/myr/fjell og fra jordbruksarealene i 12 nedbørfelt med vekslende arealandel jordbruk (6-86%).	48
28. Månedlig fosforeksport fra jordbruksarealene i 13 nedbørfelt i perioden oktober 1977 - oktober 1978	52
29. Kunstig fosforbelastning til Heddalsvatn	56
30. Kunstig fosforbelastning til Norsjø	58
31. Sammenhengen mellom årsmiddelkonsentrasjonen av fosfor i hele sjøen og gjennomsnittlig algebiomasse i epilimnion i sommerhalvåret	60
32. Forholdet mellom oppholdstiden av fosfor og oppholdstiden av vann som funksjon av oppholdtiden for vann. Dobbellogaritmisk fremstilling	63
33. Forholdet mellom oppholdstiden av fosfor og oppholdstiden av vann som funksjon av oppholdstiden for vann. Enkellogaritmisk fremstilling	63
34. Sammenhengen mellom algemengde og siktedyp i humusfattige innsjøer	65

FORORD

Undersøkelsene som har foregått i Telemarkvassdraget i perioden 1975-1979, har vært gjennomført som et samarbeidsprosjekt mellom Telemark distriktshøgskole (TDH) og Norsk institutt for vannforskning (NIVA). Ansvarlig for gjennomføringen av undersøkelsen har vært cand.real. Sigurd Rognerud (TDH) og cand.real. Dag Berge (NIVA). Sommeren og høsten 1976 samt sommeren 1977 var høgskolekandidat Tom Andersen prosjektansatt av NIVA som forskningsassistent. Denne jobben har siden september 1977 vært innehatt av høgskolekandidat Morten Johannessen. Disse har alle hatt tilhold på TDH hvorfra den daglige gjennomføringen av undersøkelsen har funnet sted.

Analysene er dels foretatt ved TDH's laboratorium og dels ved NIVA, de fleste imidlertid ved TDH. Feltutstyr fra begge institusjoner har vært benyttet.

I forbindelse med utarbeidelse av fosformodellen er det også brukt materiale som er samlet inn i forbindelse med andre NIVA-oppdrag. Dette gjelder undersøkelser av innsjøer som inngår i NIVA's Glåma-undersøkelse, Mjøsa, Randsfjorden, Tyrifjorden og Eikeren. Personalet nevnt ovenfor har foretatt prøvetaking, analysearbeide og databearbeidelse av dette materialet, og omkostningene er belastet de respektive prosjekter.

Seksjonsleder Hans Holtan har formelt stått som NIVA's saksbehandler.

1. INNLEDNING

Dette er sluttrapporten fra undersøkelsene i Telemarkvassdraget som har pågått i perioden 1975-1979.

I første del av rapporten blir den økologiske tilstanden i vassdraget samt resultater fra bakteriologiske undersøkelser beskrevet. Siden det er utkommet fremdriftsrapporter hvert år, vil materiale fra tidligere rapporter bare trekkes inn i den grad det er nødvendig for helhetsbildet av situasjonen i vassdraget, dessuten for å illustrere eventuelle endringer i undersøkelsesperioden. For mer informasjon om vassdragets tilstand henvises det til de tidligere utkomne fremdriftsrapporter.

En relativt stor del av rapporten omhandler resultatene fra nedbør- og avrenningsundersøkelsene, samt beregning av fosforbudsjett for noen av vassdragets store innsjøer.

Til slutt blir det på bakgrunn av modellbetraktninger gjort beregninger av hvordan disse innsjøer sannsynligvis vil reagere på fremtidige endringer av fosforbelastningen.

De sistnevnte deler av undersøkelsene (fosforbudsjett og modell) er av mer forskningsmessig karakter og blir derfor i større grad enn de foregående avsnitt dekket med litteraturreferanser.

Det innsamlede datamateriale er svært stort, og det er derfor ikke hensiktsmessig på nåværende tidspunkt å presentere primærdata. Dette materiale foreligger som "rå"-data, arkivert på prosjektet og kan om ønskelig presenteres senere i et eget datahefte.

2. GEOLOGI I NEDBØRFELTET

Geologien i et vassdrags nedbørfelt er av avgjørende betydning for vannets kjemiske kvalitet og har også stor betydning for biologien i vassdraget.

Berggrunnen i Telemarkvassdragets nedbørfelt består av grunnfjell der

bergartene kvarts, gneiss, granitt, og sure lavaer er fremtredende. Disse bergartene er kalkfattige og lite løselige i vann, hvilket medfører at innsjøer og elver i nedbørfeltet er ionefattig (såkalt bløtt vann) og har relativt liten bufferkapasitet (dvs. liten evne til å motstå pH-endringer ved tilførsel av syre eller lut).

Løsavsetningene i de øvre deler av nedbørfeltet består stort sett av morene, fluviale og glaci-fluviale avsetninger. I de nedre deler, rundt Heddalsvatn og Norsjø, finnes det i tillegg en del marine avsetninger. Disse avsetningene utgjør imidlertid en svært liten del av innsjøens totale nedbørfelt og har derfor relativt liten innvirkning på vannkvaliteten.

3. INNSJØENES LIMNOLOGISKE TILSTAND

Generelt om vannkjemi

Det er her vanlig å skille mellom hovedioner (Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+ og HCO_3^- , SO_4^{--} , Cl^-) og næringssalter (fosfor og nitrogenkomponenter, samt SiO_2). Hovedionene samt SiO_2 (silisium) er geologisk betinget, mens tilførslene av fosfor og nitrogen til vassdragene i langt større grad er tilknyttet menneskelig aktivitet. Dette gjelder særlig fosfor. Den relative betydning av hovedioner kontra næringssalter kan kort skisseres ved sitat fra Goltermann 1975; "Konsentrasjonen av hovedioner har betydning for hvilke organismer som er til stede, mens konsentrasjonen av næringssalter har betydning for mengden av disse organismene".

Økte tilførsler av næringssalter vil dessuten forskyve det relative mengdeforhold mellom de enkelte organismepopulasjoner.

Generelt kan det sies om vannkvaliteten i Telemarkvassdraget at såvel i elver som i innsjøer er vannet ionefattig (bløtt) og har svak sur reaksjon. Innholdet av Ca^{++} og HCO_3^- ioner er lavt, hvilket medfører at vannet har liten bufferkapasitet overfor tilførsler av syrer og baser.

Foruten de bakteriologiske forhold, er det tilførsler av næringssaltene fosfor og nitrogen som skaper problemer i vassdraget. Når forholdet mellom konsentrasjonene av nitrogen og fosfor er større enn 12 (basert på vekt), hvilket er nedre grense for proporsjonalt opptak, vil fosfor være begren-

sende for algeveksten (cf. Dillon og Rigler 1975). I Telemarksjøene ligger dette forholdet mellom 50 og 150, slik at det utvilsomt er fosfor som er begrensende for algemengden som utvikles. Fosfor er derfor viet størst oppmerksomhet ved denne undersøkelsen.

De spesielle nitrogenforholdene i Tinnsjøen, forårsaket av utlipp fra industrien på Rjukan, blir også behandlet relativt inngående.

Oksygenforholdene i Heddalsvatn og Norsjø vil også bli beskrevet kort.

De kjemiske forhold utover dette blir mer summarisk behandlet, og det henvises til tidligere fremdriftsrapporter for ytterligere informasjon.

Hovedioner samt nitrogen

I fig. 1 er en del kjemiske data fra hovedvassdraget fremstilt (se også tabell A1).

Konduktivitet = elektrolytisk ledningsevne (fig. 1, A)

Vannets evne til å lede elektrisk strøm er et resultat av ionekonsentrasjonen og gir derfor et relativt mål for denne. Ledningsevnene er i første rekke bestemt av hovedionene og da spesielt av Ca^{++} , HCO_3^- og SO_4^{--} . Konsentrasjonen av disse ionene er et resultat av bergartenes løselighet samt vannets kontakttid med berggrunn og løsmasser. Da vannets kontakttid og løsavsetningenes mektighet øker nedover i vassdraget, fører det til at også ledningsevnen øker etterhvert som vannet renner nedover både i Øst- og Vest-Telemarkvassdraget. Disse to vassdragene samt Bøelva fra Seljordvatn renner sammen i Norsjø. Her blandes altså vann fra flere områder, og ledningsevnene i Norsjø blir en mellomverdi avhengig av de enkelte vassdrags relative vannføring. Seljordvatn er den mest elektrolyttrike av de undersøkte innsjøene, noe som har sammenheng med den meget varierte geologien i dennes nedbørfelt.

Nitrogenforbindelser (fig. 1, B)

Av denne kategorien er det analysert på nitrat, ammonium og total nitrogen. Det aller meste av total nitrogen (tot-N) i relativt næringsfattige,

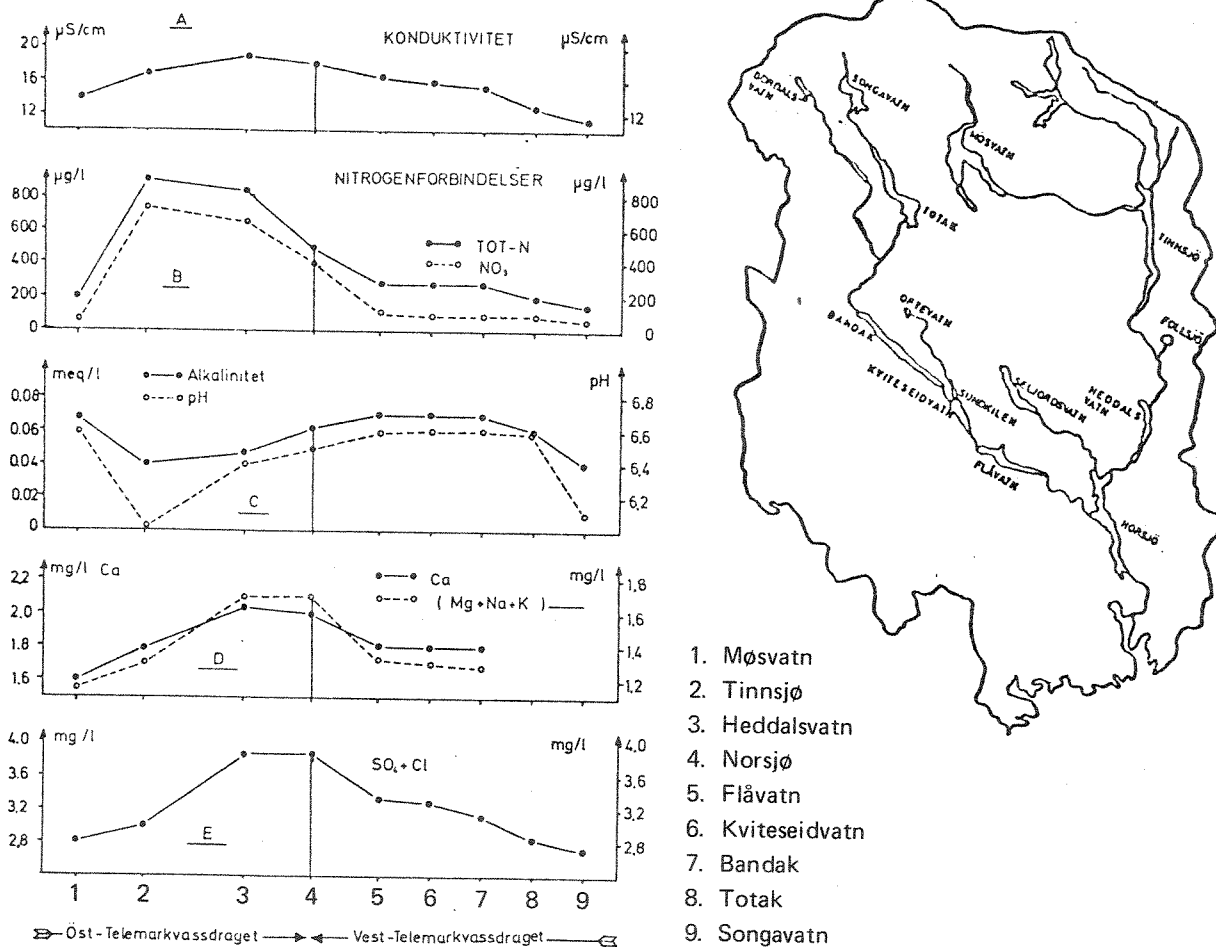


Fig. 1. Middelkonsentrasjoner av en del kjemiske komponenter. Dreneringsretningen, samt at vassdragene møtes i Norsjø er antydnet under figuren.

oksygenrike innsjøer foreligger som nitrat. I Vest-Telemark er nitratkonsentrasjonen relativt konstant nedover mot Norsjø. I Øst-Telemarkvassdraget ligger nitratkonsentrasjonen i innsjøene ovenfor Tinnsjø omtrent på samme nivå som i Vest-Telemarkvassdraget. I Tinnsjøen er det en kraftig økning av nitrat og total nitrogen. Her ble det også påvist opp til $100 \mu\text{g NH}_4\text{-N/l}$ (ammonium), hvilket er unaturlig i slike oksygenrike vannmasser som i Tinnsjøen. Disse forhold har utvilsomt sammenheng med ammoniumutslipp fra Norsk Hydro på Rjukan. Det fremgår av figuren at dette også har betydning for nitrat- og tot-N-konsentrasjonen både i Heddalsvatn og Norsjø.

Alkalinitet og pH (fig. 1, C)

Alkaliniteten gir et uttrykk for vannets bufferevne (f.eks. vannets evne til å nøytralisere syrer). Den lave alkaliniteten i Songavatn er nok geologisk betinget, og pH blir lav som følge av sur tilførsel samt dårlig bufferkapasitet. I resten av Vest-Telemarkvassdraget er det derimot et markert fall i alkalinitet og pH i Tinnsjøen og en økning igjen nedover mot Norsjø. Også dette har sammenheng med ammoniumutslippet på Rjukan (mer om dette senere).

Hovedioner (Ca, Mg, Na, K, SO₄, Cl) (fig. 1, D og E)

Konsentrasjonen av disse ionene gjenspeiler først og fremst nedbørfeltenes geologi. Økningen i Heddalsvatn og Norsjø har i første rekke sammenheng med innslag av marine løsavsetninger. Avrenningen fra disse er oftest betraktelig ionerikere enn fra glaci-fluviale løsavsetninger. Dessuten er nedbøren nærmere havet ionerikere. Da økningen av hovedionenes konsentrasjon allikevel er relativt moderat, skyldes dette den store gjennomstrømmningen av ionefattig vann fra de høyereliggende deler av nedbørfeltet.

Vanntes prosentvise ionesammensetning

Selv om det kan være meget store forskjeller mellom innsjøer når det gjelder vannets konsentrasjoner av ioner, er det likevel en tendens til at den prosentvise ionesammensetning er relativt lik. Denne såkalte "standard sammensetning" ble lansert av Rodhe (1949) etter at han hadde sammenlignet data fra et stort antall innsjøer fra flere kontinenter. Kalsium (Ca⁺⁺) viste seg å være det dominerende kation og bikarbonat (HCO₃⁻) det dominerende anion (se tabell 2). Dette forholdet er da også det vanligste i norske innsjøer på Østlandet. Etter det dominerende anion kalles disse innsjøer for bikarbonat-innsjøer. En del skogsvatn, særlig de med mye myr i nedbørfeltet, samt innsjøer i rent marine avsetninger har ofte sulfat (SO₄⁻⁻⁻) som det dominerende anion. Disse innsjøer kalles sulfatinnsjøer.

I tabell A2 er den relative ionesammensetning for de forskjellige innsjøene satt opp som milliekvivalentprosent. Når det gjelder kationer er det liten forskjell mellom innsjøene. Derimot når det gjelder anioner, fremkommer det en del interessante forhold. Dette fremgår av fig. 2. En

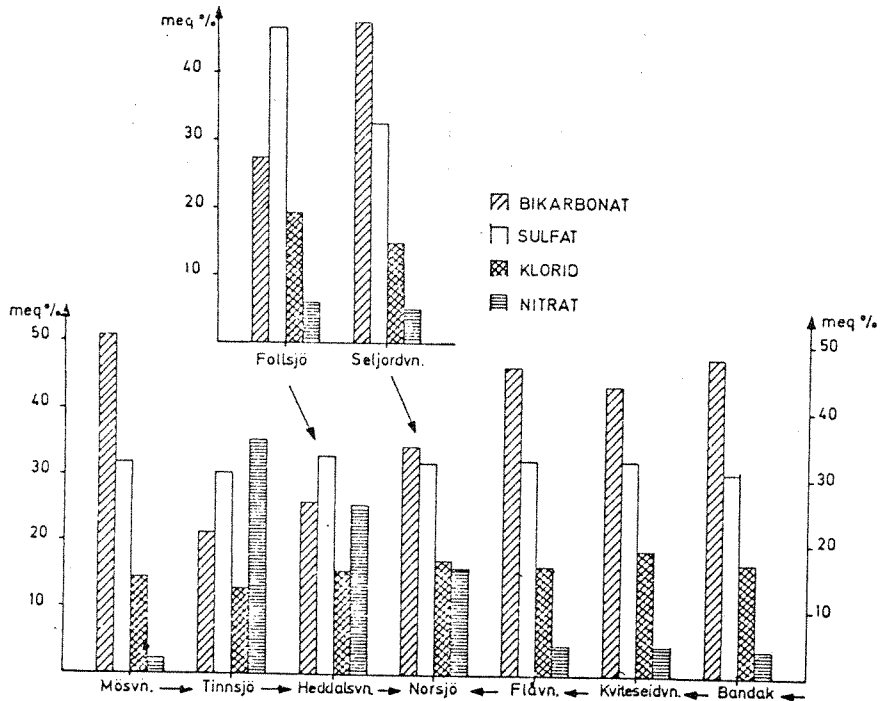


Fig. 2. Prosentvis sammensetning av anioner (meq %). Beregningen baseres på middelerverdier.

ser at Follsjø er en typisk sulfatinnsjø. Seljordsvatn og alle innsjøene i Vest-Telemarkvassdraget er typiske bikarbonatinnsjøer. For Øst-Telemarkvassdraget gjelder dette for Møsvatn, mens i Tinnsjøen blir dette kraftig endret ved at NO_3^- (nitrat) blir det dominerende anion. Etter samme inndelingsprinsipp kan en her snakke om en nitratinnsjø; en hittil ubeskrevet innsjøtype. Det er derfor overveiende sannsynlighet for at dette skyldes ammoniumutslippet fra Norsk Hydro på Rjukan. Ammonium (NH_4^+) oksyderes i det oksygenrike vannet til nitrat (NO_3^-) under avgivelse av H^+ ioner. Dette fører til at innsjøenes bikarbonatkonsentrasjon blir redusert. Ved nøyere gransking av fig. 2 sees det at Møsvatn og nedover mot Norsjø er det et omvendt forhold mellom nitrat og bikarbonat. Se fig. 3.

Den direkte biologiske effekt av den høye nitratkonsentrasjonen er uklar. Indirekte virker ammoniumutslippet ved at vannets bufferevne nedsettes og at pH blir noe lavere. Alkaliniteten avtar fra ca. 0,06 - 0,03 meq/l og pH avtar fra ca. 6,5 - 5,9.

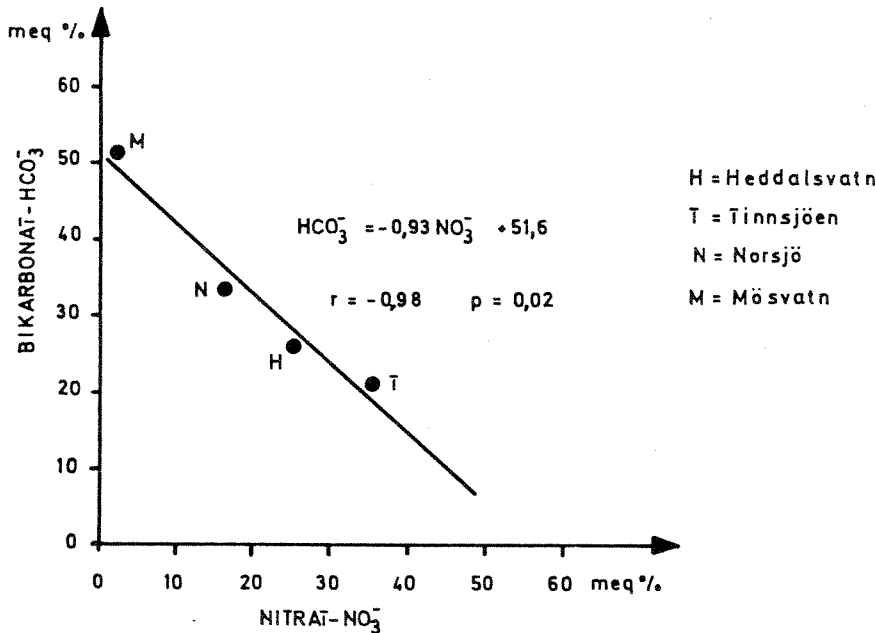


Fig. 3. Sammenhengen mellom nitrat og bikarbonat (som meq %) i Øst-Telemarkvassdraget.

Fosfor, klorofyll og siktedyp

Fosfor er en sentral parameter i eutrofieringssammenheng da det som tidligere nevnt, nesten alltid er dette elementet som er begrensende for hvor mye alger som utvikles. Mengden av alger, eller algebiomassen, er her uttrykt ved klorofyll a. Den gode sammenhengen som eksisterer mellom konsentrasjon av fosfor og algebiomasse, anskueliggjøres i fig. 4, hvor blant annet en del Telemarkssjøer er plottet inn.

I figur 5 og 6 er de midlere konsentrasjoner (sommerverdier) i undersøkelsesperioden av henholdsvis fosfor og klorofyll a framstilt. Fig. 7 viser det midlere siktedypet fra de samme innsjøer i den samme perioden. Se også tabell A3.

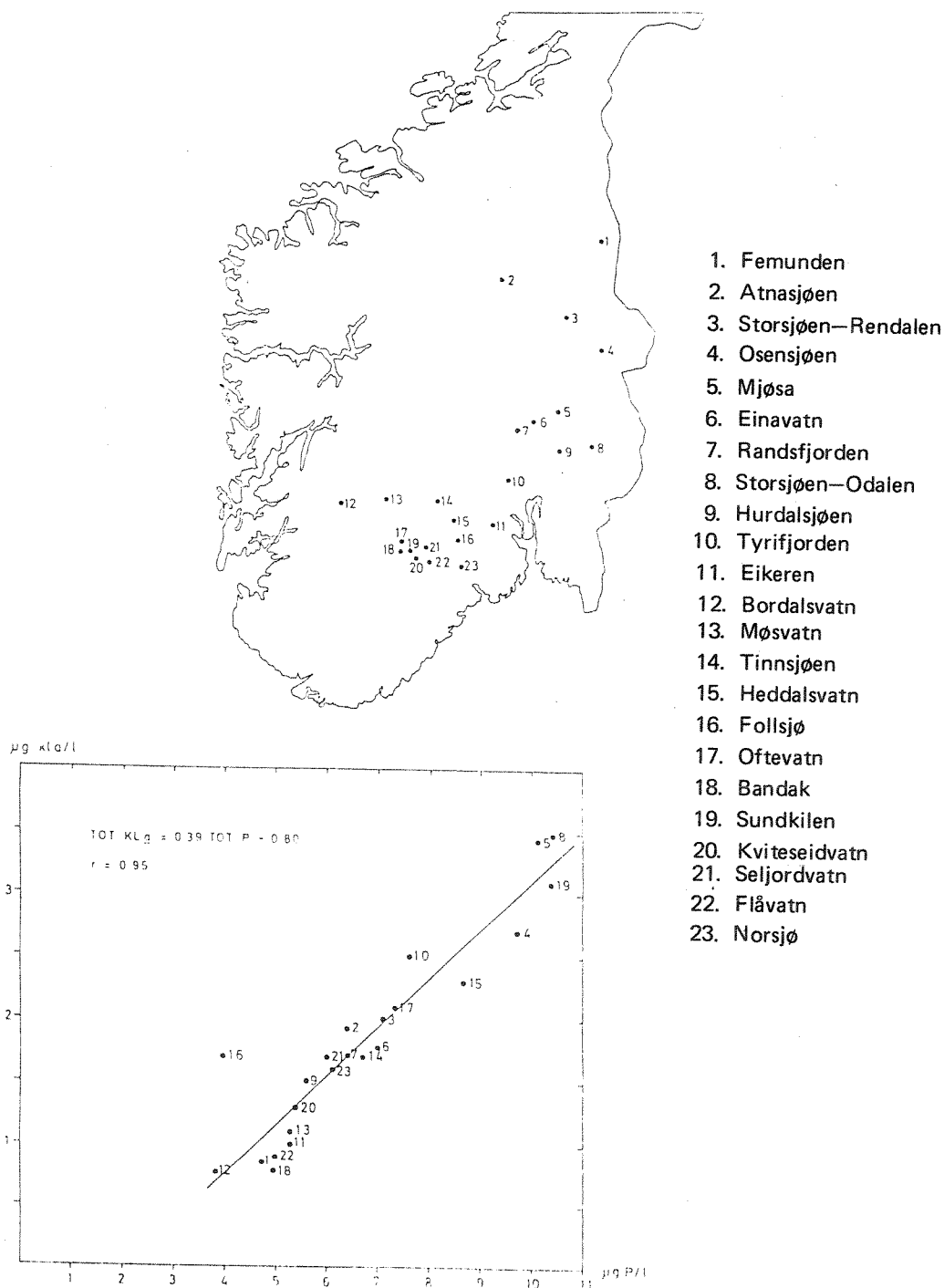


Fig. 4. Middelverdien av algemengde (klorofyll a) i perioden juni-oktober som funksjon av total fosfor i epilimnion i en del store østnorske innsjøer. Verdiene fra Telemarkinnsjøene og middelverdier for undersøkelsesperioden 1975-1978 (se tabell A3). Verdiene for de andre innsjøene er fra 1978.

De høyeste konsentrasjoner av såvel klorofyll som fosfor observeres i Sundkilen og Heddalsvatn. Dette er i overensstemmelse med at det relativt sett er disse innsjøene som mottar de største fosfortilførsler (se senere avsnitt om fosforbudsjett). For Heddalsvatns vedkommende er det de store utslippene fra Notodden som er årsaken til den noe betenkelige utviklingen innsjøen nå er inne i. Hadde det ikke vært for den store sommervannføringen i Tinnelva, ville algeproblemet i Heddalsvatn vært betraktelig større enn hva tilfellet er i dag.

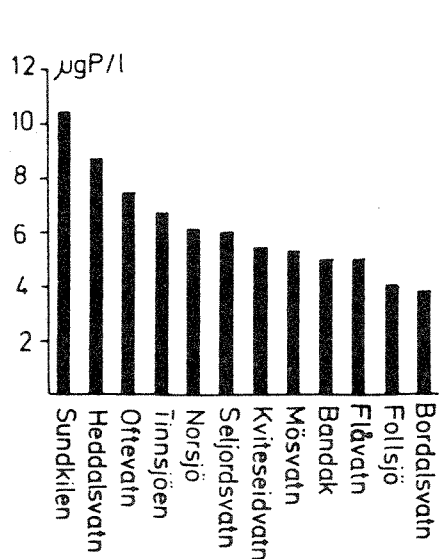


Fig. 5. Middelkonsentrasjonen av total-fosfor i sommerhalvåret fra de angitte innsjøer. Analysene er basert på blandprøver fra epilimnion.

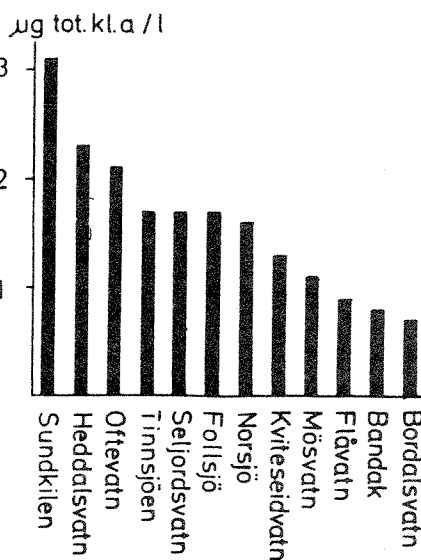


Fig. 6. Middelkonsentrasjonen av total klorofyll a i perioden juni-oktober fra de angitte innsjøer. Analysene er basert på blandprøver fra epilimnion.

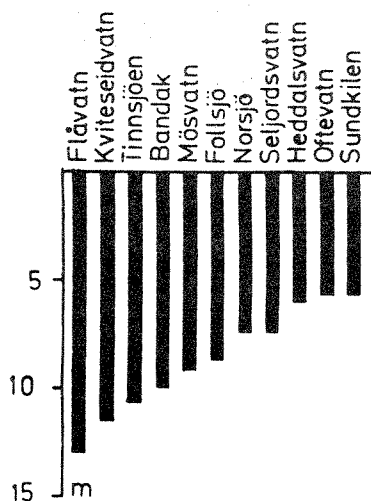


Fig. 7. Midlere siktedyp i undersøkelsesperioden fra de angitte innsjøer.

Problemene i Sundkilen har sammenheng med at effekten av utslippene fra Kviteseid er blitt forsterket som følge av sterkt nedsatte gjennomstrømninger i sjøen. Dette er et resultat av at ca. halve nedbørfeltet er ført over til Sundsbarm (kraftverksregulering).

De høye konsentrasjonene av fosfor og klorofyll i Oftevatn kan ikke direkte sammenliknes med resultatene fra de andre innsjøene. Oftevatn er i motsetning til disse svært grunn, hvilket medfører at store deler av vannmassen til stadighet eksponeres for sedimentet. Dette medfører at nedbrytning av organisk materiale/regenerering av næringssalter går fortere enn i dypere sjøer. Eller sagt med andre ord, slike grunne innsjøer har raskere omsetning enn dypere innsjøer. Oftevatn er dessuten humuspåvirket, noe som medfører at en del fosfor kan være bundet til humuskolloider og dermed ikke være tilgjengelig for alger. Dette humusinnholdet er også årsaken til innsjøens lave siktedyp.

Det tyder imidlertid ikke på at utslippene fra Høydalsmo hittil har resultert i betenkelig algevekst i Oftevatn.

I Tinnsjøen er det observert relativt høye fosfor- og klorofyll a- konsentrasjoner. Dette må i første rekke sees i sammenheng med utslipp fra Rjukan og Austbygdi.

Til tross for relativt mye alger har Tinnsjøen et stort siktedyp. Den rimeligste forklaringen på dette må være at det i vannmassene finnes lite partikler utenom alger, og at det finnes svært lite løste organiske forbindelser som f.eks. humus. En må også kunne anta at de store nitrogenutslippene fra Rjukan kan være med på å forsterke effekten av fosforutslippene (cf. Vollenweider 1968).

De nordre deler av Nordsjø er i perioder sterkt belastet med partikulært fosfor fra Bøelva og Sauerelva samt fra oppvirvling av bunnmateriale fra denne delen av bassenget. Dette partikkelbundne fosforet synes lite tilgjengelig for alger. Samtidig sedimenterer det ut relativt raskt, slik at fosforkonsentrasjonen avtar utover i bassenget. Følgelig blir middelet for flere stasjoner utover i bassenget relativt lavt til tross for at det

regionalt kan gjøres enkeltobservasjoner med høye fosforkonsentrasjoner. Denne partikkelbelastningen antas å være årsaken til at siktedypet er lavere enn det mengden av alger skulle tilsi. Rent visuelt resulterer denne partikkelbelastningen i at de nordre deler av Norsjø i flomperioder får et grønt utseende. Dette er særlig vanlig om våren.

De andre undersøkte innsjøene, Seljordvatn, Møsvatn, Kviteseidvatn, Bandak, Flåvatn, Follsjø og Bordalsvatn må sies å ha lave konsentrasjoner av såvel fosfor som klorofyll a. At siktedypet i Møsvatn er relativt lavt, må sees i sammenheng med at de store vannstandsvariasjonene reguleringen medfører, gjør at det vaskes ut partikulært materiale fra reguleringssonen.

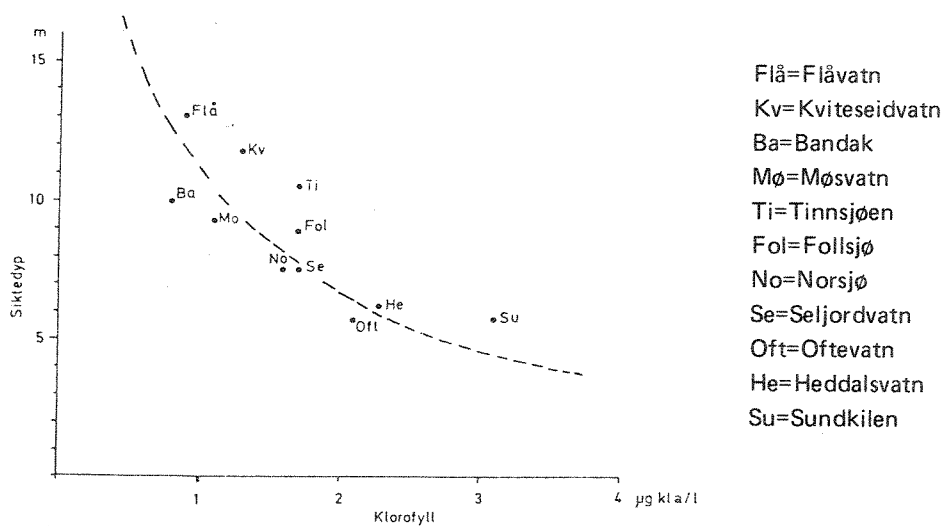


Fig. 8. Sammenhengen mellom siktedyp og algemengde (klorofyll a) i epilimnion i perioden juni-oktober (se tabell A3). Middelerverdier for undersøkelsesperioden 1975-78.

Ellers kan det generelt sies at det eksisterer et inverst forhold mellom siktedyp og konsentrasjoner av fosfor og klorofyll a (fig. 5, 6 og 7). Dette illustreres i figur 8 hvor Telemarksjøene er plottet inn og en mer generelt gjeldende kurve er trukket opp.

Algebiomassens sesongvariasjon samt eventuell utviklingstendens i undersøkelsesperioden.

I fig. 9 er dagsobservasjoner av klorofyll a i undersøkelsesperioden for de enkelte innsjøer ført opp.

Ut fra disse data er det (i undersøkelsesperioden) vanskelig å påpeke noen utvikling i bestemt retning for noen av innsjøene. Forholdene synes heller relativt konstante i de enkelte innsjøer fra år til år.

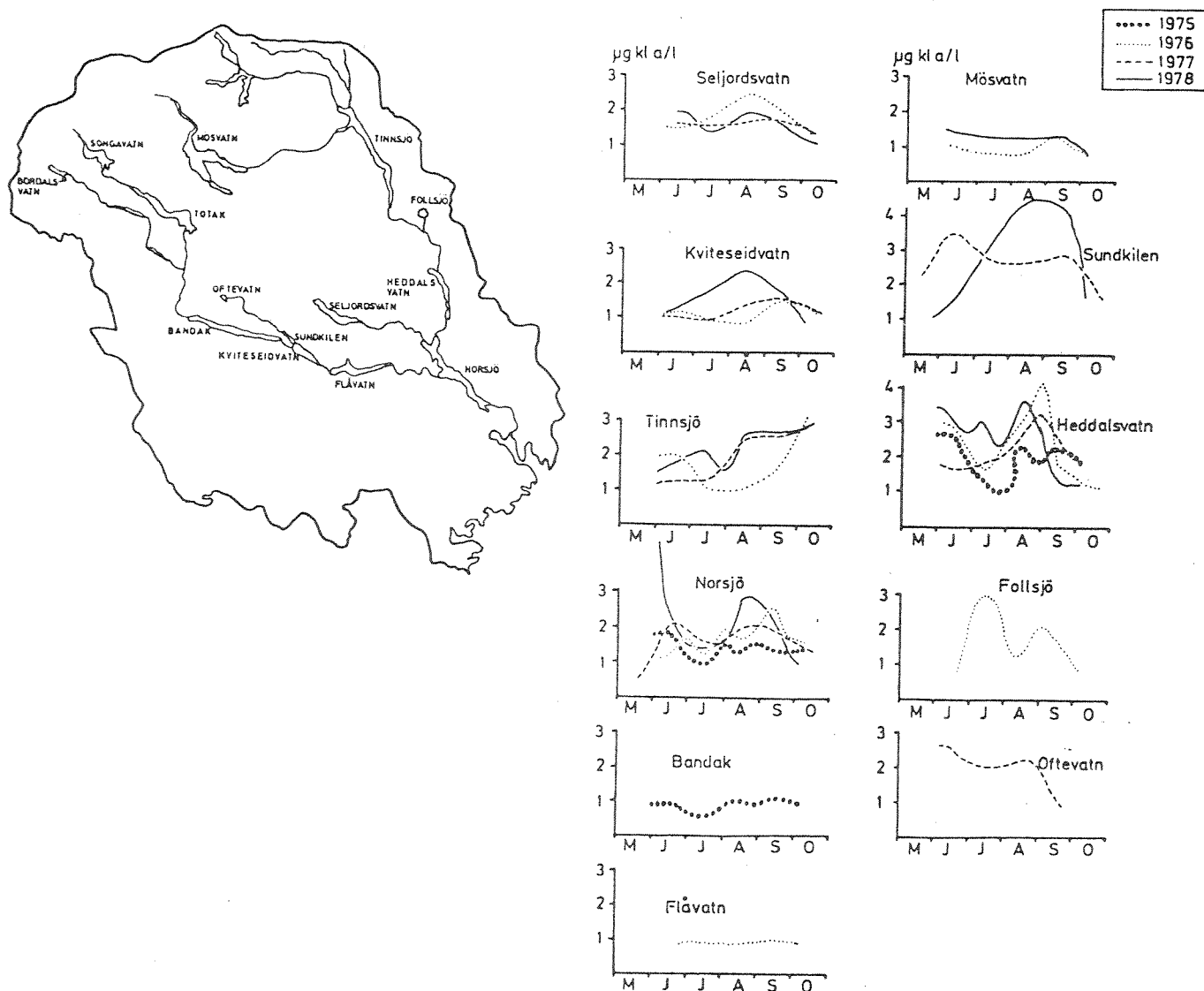


Fig. 9. Variasjon i sommerhalvåret av alge- mengde (klorofyll a) i de angitte innsjøer. Analysene er basert på blandprøver fra epilimnion (1-10 m).

Interessant er det imidlertid å merke seg at de største algekonsentrasjonene i Tinnsjøen, i de tre år denne innsjøen har vært undersøkt, opptrer på sensommeren og høsten. Dette må ha sammenheng med at algeveksten gjennom sommeren holdes nede av kaldt smeltevann fra fjellet. Denne dempingen er dels direkte ved at lav temperatur nedsetter fysiologiske prosesser, og dels indirekte ved at termoklinen på forsommeren blir liggende dypt. I og med at det sirkulerende sjikt derved blir tykt, vil algene sirkulere så dypt at lys blir begrensende for deres vekst. Først når denne tilstrømmingen av kaldt smeltevann avtar, øker algebiomassen. Dette tiltross for at innstrålingen av lys begynner å bli begrensende for algevekst ved denne årstid.

For Norsjø og Heddalsvatns vedkommende kan det se ut som om verdiene fra 1975 ligger noe under verdiene fra de tre siste år. Dette kan skyldes at prøvene fra 1975 ble lagret for lenge før analysering. 1975-verdiens avvik fra de tre andre år behøver derfor ikke å beskrive en reell utvikling. Den uvanlig høye biomassetoppen i Norsjø våren 1978 skyldes sannsynligvis at det var svært pent og varmt vær i den begynnende sjiktingsperioden dette år. Dermed ble det god utnyttelse av næringssalter tilført produksjons-sjiktet ved vårsirkulasjonen.

Forøvrig fremgår det også her at det er Sundkilen og Heddalsvatn som har de største algekonsentrasjonene.

Kvantitativt og kvalitativt planteplankton

Her er kun materiale fra Heddalsvatn, Norsjø og Bandak fra 1975 behandlet. Det er imidlertid samlet inn prøver fra alle de før nevnte innsjøer fra alle undersøkelsesårene. Disse blir arkivert og kan om ønskelig bearbejdes senere. Resultatene fra 1975 er referert i fremdriftsrapport nr. 1, og for opplysninger utover den summariske gjengivelse som gis her, refereres det til denne.

Verdiene fra Bandak er svært lave og det kan ikke sies å eksistere noe problem angående algevekst i denne sjøen. I Norsjø og spesielt i Heddalsvatn er det registrert algemengder som gjør at situasjonen må betraktes som noe mer betenkelig. Algemengden er imidlertid adskillig mindre enn hva som ble målt i Mjøsa i 1976 da de store problemene med blågrønnalgen *Oscillatoria* oppsto.

Tabell 1. Oversikt over gjennomsnittsalgebiomasse i sommersesongen fra Bandak, Norsjø og Heddalsvatn og til sammenligning fra Mjøsa, Tyrifjorden og Eikeren.

Innsjø	Årstall	Referanse	Tot algevolum mm ³ /m ³
Bandak	1975	NIVA 1976	ca. 230
Norsjø	1975	NIVA 1976	ca. 390
Heddals- vatn	1975	NIVA 1976	ca. 600
Eikeren	1978	NIVA 1979	ca. 200
Tyrifjorden	1973	Rognerud 1975	ca. 350
Mjøsa	1976	NIVA 1977	ca. 900-1800

Når det gjelder det kvalitative aspektet ved planteplanktonet, kan det generelt sies at det i alle tre innsjøene viser en relativt naturlig sammensetning med et dominerende innslag av gulalger (Chrysophyceae), hvilket er vanlig i denne type innsjøer.

I Heddalsvatn er det et markert innslag av blågrønnalger i august/september, noe som må sees i sammenheng med den store fosforbelastningen innsjøen mottar. Det er vanlig at det i innsjøer av denne type forekommer store mengder kiselalger i en begynnende eutrofieringsfase. Dette forholdet er imidlertid ikke observert i Heddalsvatn. Det kan tyde på at den store gjennomstrømmingen er med på å dempe veksten av disse. Ved en ytterligere økning av fosfortilførslene er det derfor ikke utenkelig at det kan oppstå blågrønnalgeproblemer uten det klassiske "forvarslet" i form av betydelige mengder kiselalger.

Selv om materialet fra 1978 ikke er bearbeidet, bør det nevnes at det i Norsjø ved en anledning i august ble observert vannblomst (alger som flyter opp) av blågrønnalgen *Anabaena* sp. Slike fenomener er kjent fra andre innsjøer hvor situasjonen ikke kan karakteriseres som kritisk, men det tas ofte som et tegn på at innsjøen som "økosystem" er ute av likevekt.

Planteplanktonets primærproduksjon

Måling av planktonisk primærproduksjon regnes som et av de beste redskaper til bestemmelse av en innsjøes trofigrad (cf. Elster 1958, Rodhe 1969).

Spesielt gjelder dette for store dype innsjøer hvor omsetningen hovedsakelig foregår i de fri vannmasser som f.eks. i Telemarkssjøene.

En måler da algenes opptakshastighet av karbon og får således et mer dynamisk begrep om innsjøenes næringsstatus enn det en får ved statiske biomasseestimer.

Slike målinger er blitt foretatt i Heddalsvatn og Norsjø i 1975 og 1977 samt i Bandak i 1975. Det har dels vært nyttet insitu-metodikk beskrevet av Vollenweider 1969 og dels inkubatormetodikk (Gargas et al. 1976). Omregning til dagsproduksjon er gjort etter Gächter 1972. I tabell 2 er det satt opp resultater fra de nevnte innsjøer samt fra Mjøsa og Tyrifjorden til sammenligning.

Det gjøres her oppmerksom på at primærproduksjonsresultatene fra Heddalsvatn og Norsjø fra 1975, presentert i fremdriftsrapport nr. 1, var for høye da det ble gjort en feil ved bestemmelse av uorganisk karbon. Tallene i nedenstående tabell er korrigerert for denne feil.

Tabell 2. Oversikt over planteplanktonets primærproduksjon fra Bandak, Norsjø og Heddalsvatn, og til sammenligning fra Tyrifjorden og Mjøsa.

	Høyeste målte dagsprod mgC/m ² dag	Årsprod. gC/m ² år	Referanse
Norsjø 1975	150	17	TDH, 1978, NIVA 1978
Norsjø 1977	210	19	TDH, 1978, NIVA 1978
Heddalsvatn 1975	325	23	TDH, 1978, NIVA 1978
Heddalsvatn 1977	480	25	TDH, 1978, NIVA 1978
Bandak 1975	150	10	NIVA 1976
Tyrifjorden 1978	200	23	NIVA 1979 (i manus)
Mjøsa 1976	650-2000	50-100	NIVA 1977

Verdiene fra Bandak er svært lave og indikerer en liten produksjon av planktonalger.

Produksjonen i Norsjø og Heddalsvatn er betraktelig høyere. Spesielt gjelder dette Heddalsvatn hvor verdiene er av samme størrelsesorden som i Tyrifjorden. De er imidlertid mye lavere enn i Mjøsa til tross for at Heddalsvatn har en relativ fosforbelastning som er tre ganger så stor som Mjøsa (pr. m² overflate). Den store gjennomstrømningen i Heddalsvatn er utvilsomt årsaken til at algeproduksjonen dempes. Til sammenligning kan det nevnes at den teoretiske vannfornyelsen i Mjøsa er ca. 6 år, mens i Heddalsvatn er den 0,1 år. Reduseres vannføringen i Tinnelva i sommerhalvåret, er det klart, ut fra de kunnskaper en i dag har om eutrofiering av store innsjøer, at algeproduksjonen i Heddalsvatn vil øke betraktelig.

Dyreplankton

Dyreplanktonet består hovedsakelig av små krepssdyr som er 2-3 mm lange. Det ernærer seg hovedsakelig på levende alger, men kan også spise døde organiske partikler (detritus). Ved å konsumere alger er de med på å redusere mengden uønskede alger i vannet, samtidig som de øker nedbrytningen i de øvre vannlag. Dette har en gunstig virkning på tilstanden i innsjøen. Bestanden av krepssdyr bør derfor være størst mulig sett fra et limnologisk synspunkt. Sik og røye lever imidlertid helt eller delvis av disse krepssdyrene (se fig. 10).

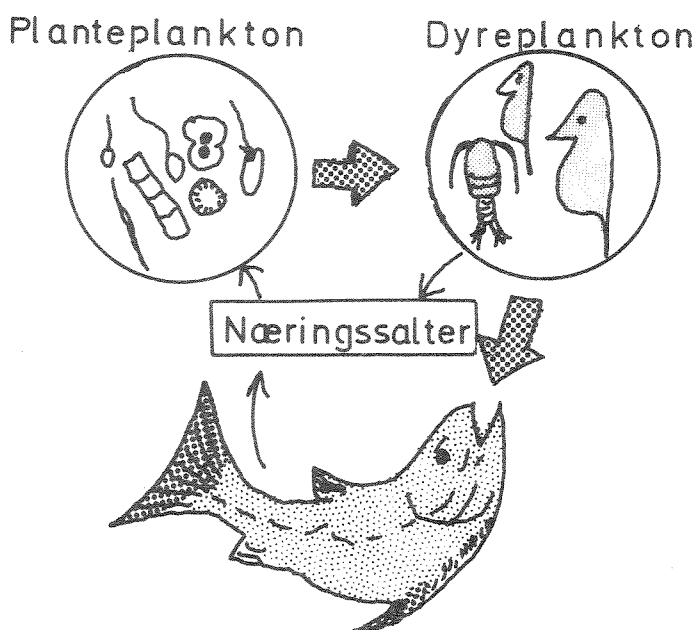


Fig. 10. Næringskjeden i de frie vannmasser.

I de store Telemarkinnsjøene er det tildels store bestander av sik og røye. Det er overveiende sannsynlig at dyreplanktonbestanden i enkelte tilfelle blir drastisk redusert av disse fiskeartene. Heddalsvatn er et godt eksempel på dette (Se senere).

I tabell 3 er de artene som ble registrert i de kvantitative prøvene fra 9 av de store Telemarkinnsjøene ført opp. Med hensyn til en økende tilførsel av næringssalter så vil mengden av dyreplankton først øke. Deretter kan en få en forskyvning av artssammensetningen. Enkelte arter kan forsvinne, andre komme til. Det synes som om dyreplanktonet i alle de undersøkte innsjøene har en artssammensetning som er typisk for næringsfattig til middels næringsrike innsjøer i Norge. Ingen av innsjøene har et dyreplankton som kan sies å være typisk for næringsrike innsjøer. 4 arter forekommer i alle innsjøene. Hoppekreps av slekten Diaptomus har forekomst av forskjellige arter i innsjøene ettersom en går oppover i vassdraget. Dette er imidlertid et kjent forhold og kan ikke settes sammen med en varierende grad av forurensning.

Tabell. 3. Artsliste over dyreplanktonet i de undersøkte innsjøene.

(+ = arten er registrert i de kvantitative prøvene).
 Fl: Flåvatn, K: Kviteseidvatn, B: Bandak, M: Møsvatn,
 T: Tinnsjø, F: Follsjø, H: Heddalsvatn, N: Norsjø,
 S: Seljordsvatn.

Arter	Fl	K	B	M	T	F	S	H	N
Cyclops scutifer	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Mesocyclops leuckarti						+			+
Holopedium gibberum	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Daphnia longispina	+	+			+	+	+	+	+
Daphnia cristata						+	+		
Bosmina longispina	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Eudiaptomus gracilis								+	+
Achanthodiptomus denticornis	+	+			+	+	+		
Mixodiptomus laciniatus				+	+				
Heterocope appendiculata								+	+
Heterocope saliens	+	+	+		+	+	+		
Bythotrephes longimanus	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Leptodora kindtii							+	+	+
Polyphemus pediculus	+	+	+	+					

Mengden av dyreplankton varierer sterkt med årstiden, med størst mengder i sommerhalvåret og minst på vinteren. Dette henger sammen med at mange arter klekker fra hvileegg på våren som utvikler seg til voksne på forsom-

meren. De kan ha 1-3 generasjoner i løpet av sommeren før det atter dannes hvileegg på senhøsten (se fig. 11).

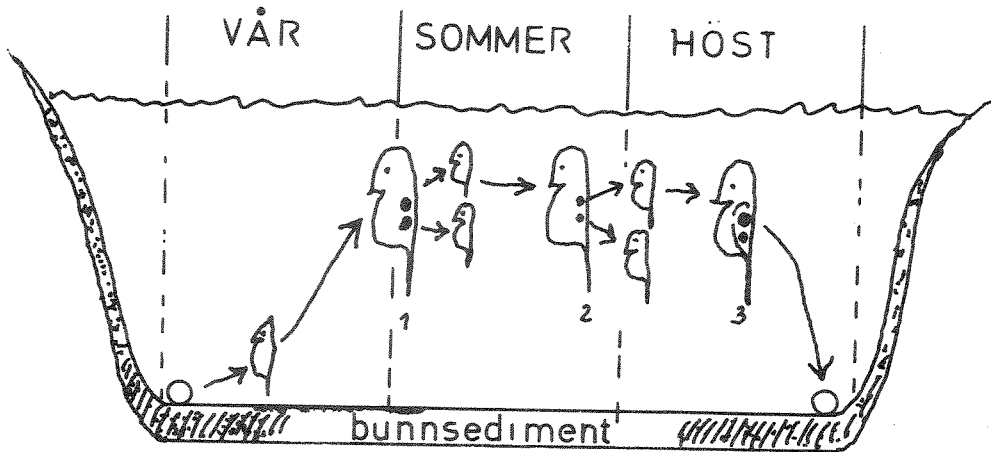
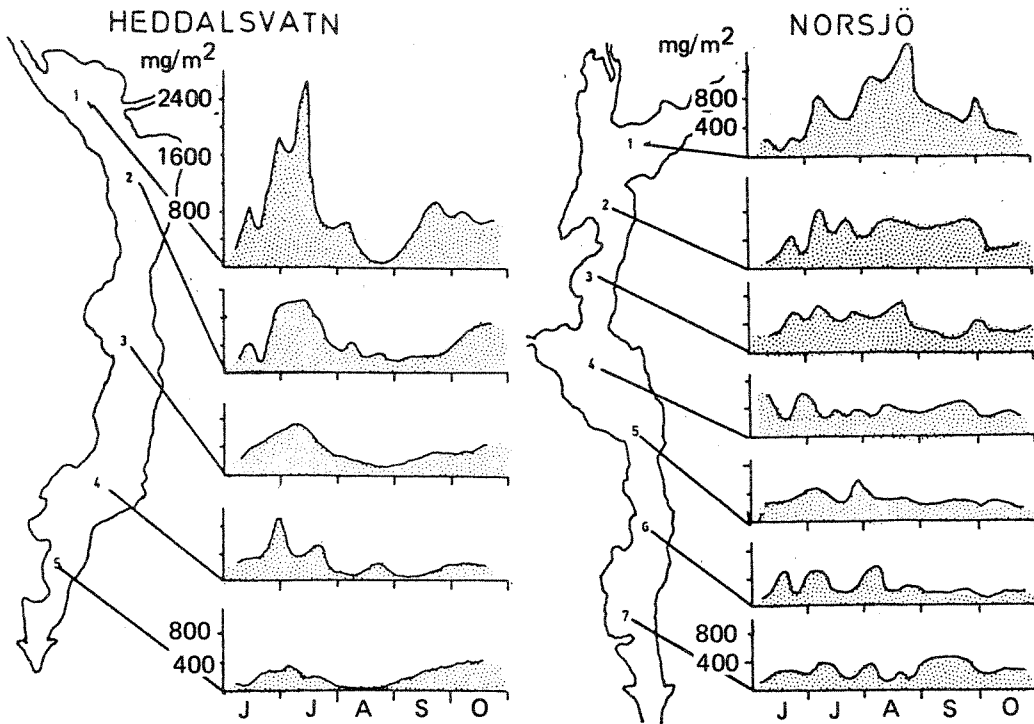


Fig. 11. Zooplanktonets livssyklus her illustrert ved vannløppen Daphnia - 3 generasjoner er vist.

Det er imidlertid ikke bare variasjoner i tid, men også regionalt innen innsjøen. For å få best mulig oversikt over de regionale forskjeller ble Norsjø og Heddalsvatn undersøkt grundig (fig. 12). Det var generelt størst konsentrasjoner i de nordligste delene (innløpsenden), men med et jevnt avtak sydover i bassenget. I de nordligste delene dominerte alge- og detritus-spisere, mens innslaget av rovformer økte sydover (fig. 12). Dette mønsteret ble også observert i Tinnsjøen og Seljordsvatn, og antas å ha gyldighet for de andre store innsjøene i Telemark. Følgende årsaker kan nevnes:

1. Oppfylling av sedimenter fra de store elvene gjør at de nord/nordvestligste delene av innsjøene er noe grunnere. Disse områdene virker gunstig på reproduksjonen, og elvenes tilførsel av detritus virker stimulerende på produksjonen.
2. Avtaket sydover skyldes også en ren fortynning av de større bestandene i nordenden.
3. Det forhold at dyrene i de sydligste deler var svært små og sjelden kjønnsmodne, kan tyde på et sterkt beitetrykk fra fisk. Også dominans av store rovformer av zooplankton henger sammen med stort beitetrykk fra fisk. (A. Langeland pers.medd.) Dette gjalt spesielt Heddalsvatn.

A.



B.

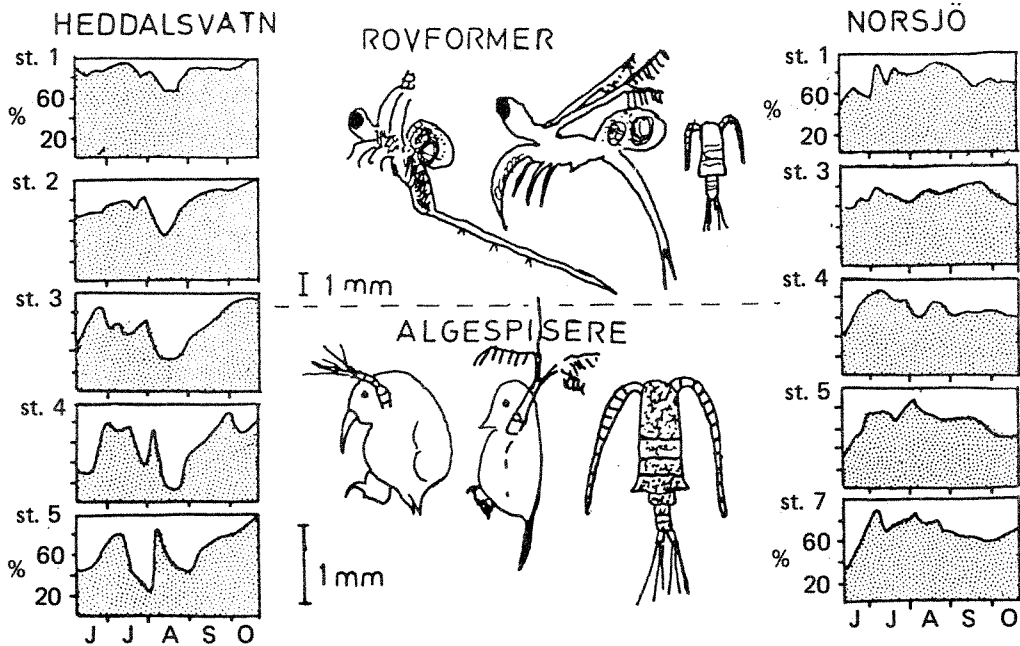


Fig. 12 A Zooplanktonbiomasser pr. m^2 i sjiktet 0-20 m i perioden juni-oktober 1977. Regionalt i innsjøene.

B Den relative fordeling av algespisere og rovformer i samme periode.

I fig. 13 er mengden dyreplankton i de øvre vannlag for 9 innsjøer i Telemarkvassdraget fremstilt. Av dette går det fram at Heddalsvatn, Tinn-sjø, Norsjø og Seljordvatn hadde større dyreplanktonmengde enn de rester-ende. Dette henger nøye sammen med algemengden i innsjøene som er vist i fig. 9. En kan også merke seg at dyreplanktonmengden er størst i perioden juni/juli (unntak Tinnsjøen). Dette faller sammen med første generasjon av voksne dyr, og de er ved sin beiting med på å redusere algeveksten på denne tiden. Dyreplanktonmengden er overraskende lav i perioden juli/au-gust, noe som begunstiger algemengden på denne tiden.

En hardere beskatning av spesielt sik, men også røye, vil være gunstig for innsjøene. Derved vil en forhåpentlig kunne øke dyreplanktonmengden som igjen vil føre til noe mindre alger. Dette tiltak kan betraktes som et supplement til vanlig renseanleggsteknikk for kontroll av vannforurensning. I dag har man altfor liten kunnskap om alle økologiske forhold i samband med biologisk styrt eutrofiering til at man kan ha noen sikker formening om betydningen i forurensningssammenheng, spesielt når det gjelder store, dype innsjøsystemer.

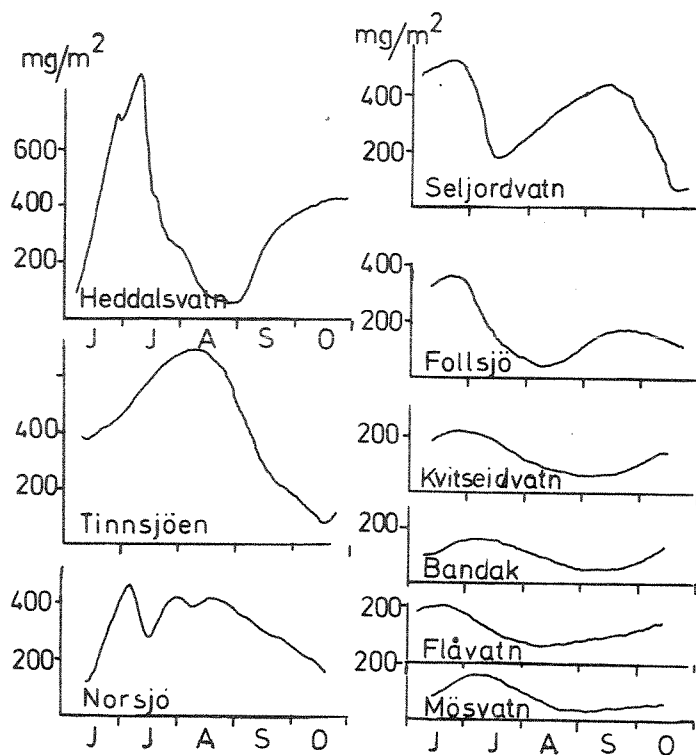


Fig. 13. Zooplanktonbiomassen pr. m^2 i sjiktet 0-10 m i perioden juni - oktober 1977.

Sedimentasjon

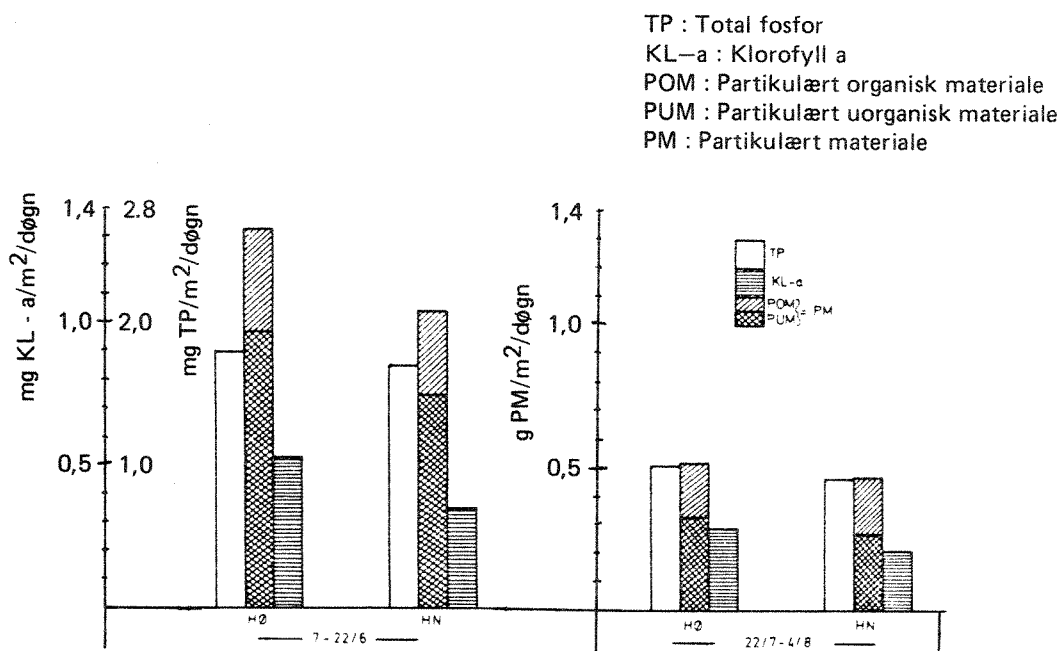
De største fosfortilførslene kommer både i Heddalsvatn og Norsjø inn i den nordre enden av bassenget. Mye av dette fosforet er bundet til partikler og skulle forventes å sedimentere ut relativt raskt når det kommer ut i innsjøen. Hensikten med sedimentasjonsundersøkelsen var:

- 1) Få et bilde av sedimentasjonens variasjon utover i bassenget.
- 2) Få kvantifisert sedimentasjonen for innsjøene totalt sett, eller bokstavelig talt, få kvantifisert hvor mye av fosfortilførslene som går til bunns.

Dette ble undersøkt i 1977 ved hjelp av sedimentasjonsfeller. Målingene ble foretatt i den nordre, midtre og søndre delen i begge innsjøer.

I flomperiodene (vår og høst) var det tydelig at den største sedimentasjonen av fosfor og partikulært materiale fant sted i den nordre enden. Dette bekrefter antagelsen om at det innkomne partikkelbundne fosforet i slike perioder bare i liten grad blir tilgjengelig for algeproduksjonen når en betrakter innsjøen under ett. I perioder med liten vannføring i tilløpselvene var sedimentasjonen av fosfor og partikulært materiale noenlunde ens ut gjennom hele bassenget. Dette er illustrert i fig. 14.

Fig. 14. Sedimentasjon av fosfor, klorofyll og partikulært materiale ved en stasjon i nordre del (HØ), og en stasjon i søndre del (HN) av Heddalsvatn i en periode på forsommeren og en periode midtsommers 1977 (37 m dyp).



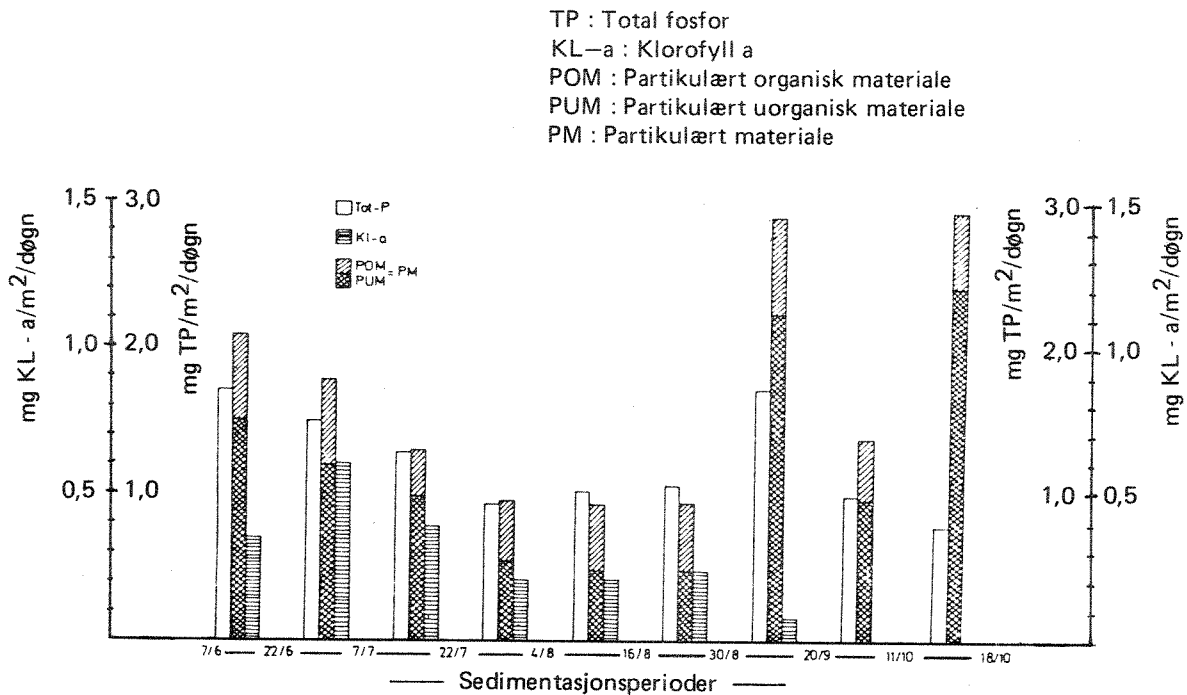


Fig. 15. Sedimentasjonsforløpet ved stasjonen i søndre del av Heddalsvatn (37 m dyp) i perioden juni-oktober 1977.

Størst sedimentasjon av fosfor og partikulært materiale ble observert vår og høst, dvs. i perioder med høy vannføring i de innkommende elver. Størst sedimentasjon av klorofyll a stemte overens med observerte maksima i algekonsentrasjonen i epilimnion. Se fig. 15.

Den totale sedimentasjonen av fosfor i innsjøen skulle teoretisk stemme noenlunde overens med differansen mellom fosfortilførsler og fosfor transportert ut av innsjøen via utløp (såkalt fosforretensjon). Sedimentasjonsmålingen viste seg imidlertid å underestimere denne fosforretensjonen betraktelig og undersøkelsen ble derfor avsluttet da det viste seg at resultatene ikke kunne brukes i fosforbudsjettsammenheng. Mer om sedimentasjonsundersøkelsen finnes i fremdriftsrapport nr. 3, samt referert i Berge 1978.

Oksygen

Når innsjøen utsettes for utslipp fra en stadig økende menneskelig aktivitet, slik som Heddalsvatn og Norsjø, er en av følgene at dypvannet (hypolimnion) mottar større mengder nedbrytbart organisk materiale. Dette materialet er dels tilført direkte utenfra og dels tilført fra epilimnion ved at dødt planktonmateriale fra en økt produksjon sedimenterer. Når organisk materiale nedbrytes, forbrukes oksygen. Siden hypolimnion i den sjiktede periode for en stor del er avstengt fra tilførsel av oksygen utenfra, vil dennes oksygeninnhold avta.

I sommersesongen 1977 ble oksygenforholdene i dypvannet i Heddalsvatn og Norsjø undersøkt ved at det ble tatt vertikale oksygenprøver i hypolimnion hver 14. dag. Resultatene er fremstilt i fig. 16 og 17.

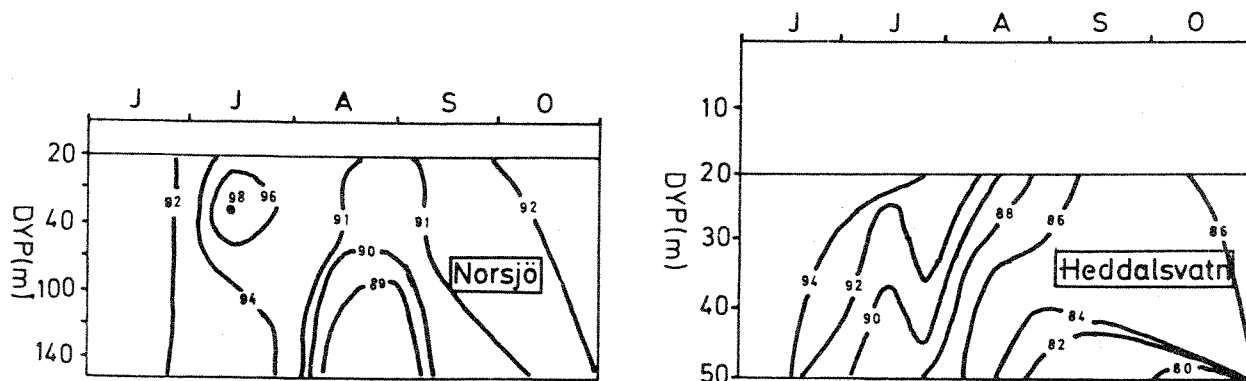


Fig. 16 og 17. Dybde/tid diagram over oksygenmetningen (%) i hypolimnion i perioden juni-oktober 1977 for Heddalsvatn og Norsjø.

Både i Heddalsvatn og Norsjø registreres et avtak i oksygenmetningen i dypet utover sommeren. Avtaket er noe større i Heddalsvatn enn i Norsjø. Dette skyldes dels en større belastning og dels at Norsjø som følge av større dyp har større oksygenreserver å tære på. Avtaket er imidlertid for begge innsjøers vedkommende såpass beskjedent at det neppe innvirker på innsjøens metabolisme i nevneverdig grad.

Den store gjennomstrømningen som preger disse innsjøene resulterer i en relativt ustabil sjiktning, som sammen med god vindeksponering kan medføre en viss vannutskiftelse i hypolimnion også under stagnasjons-

periodene. Det er derfor ikke trolig at oksygensvinn i dypvannet i Heddalsvatn og Norsjø vil medføre problemer i nærmeste fremtid.

I Sundkilen derimot er det ikke utenkelig at slike problemer kan oppstå på grunn av en relativt stor belastning sammen med at gjennomstrømningen er sterkt redusert som følge av regulering.

4. ELVER

Kjemi

Også i elvene er det generelle trekk at vannet er ionefattig (bløtt) og svakt surt.

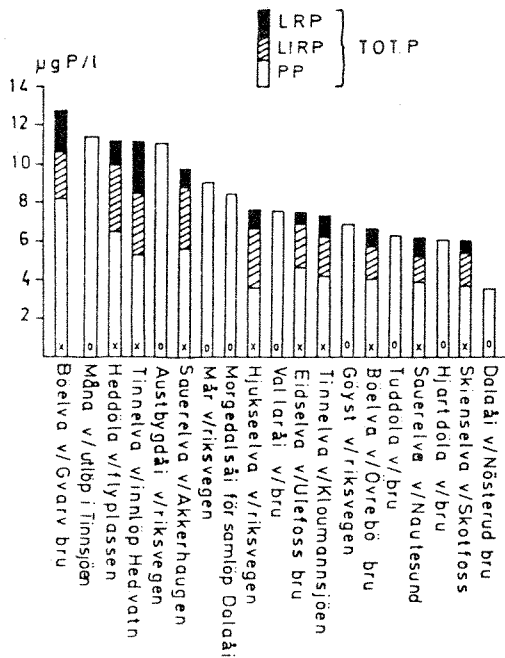
De elementer som i første rekke skaper problemer er også her fosfor og nitrogen. For informasjon om kjemiske data utover dette henvises det til fremdriftsrapport nr. 1 og 2.

Nitrogen

I de fleste undersøkte elvene ligger total nitrogen-konsentrasjonen på ca. 200-300 µg N/l, hvilket ikke ansees å være særlig høyere enn det naturgrunlaget i de enkelte nedbørfelt skulle tilsi. Dette er imidlertid ikke tilfelle med Måna, hvor det er registrert en økning fra 200 til over 1000 µg N/l på strekningen før - etter Rjukan. Årsaken til dette er i første rekke utslippene fra Norsk Hydro. Hele den nedenforliggende delen av vassdraget får som følge av dette en unormalt høy nitrogenkonsentrasjon (se side 11).

Fosfor

Det er gjort en meget grundig undersøkelse av fosfortransporten i elvene inn og ut av Heddalsvatn og Norsjø. For disse elver er det på grunnlag av dette fremkommet volumetriske middelkonsentrasjoner. Resultatene fra de andre elvene baseres på aritmetriske middel av noe mer spredte målinger. En del av disse elvene vil bli behandlet under kapittelet om fosforbudsjett, slik at her gis det kun en kort beskrivelse vedrørende konsentrasjoner. Resultatene er fremstilt i fig. 18 og tabell A4.



LRP = Løst reaktivt fosfor (orto-
fosfat)

LIRP = Løst ikke reaktivt fosfor

PP = Partikulært fosfor

Tot P = Total fosfor

Fig. 18. Middelkonsentrasjoner av total-fosfor og fosforfraksjoner i de angitte elver.

Søyler merket x er volumetriske middelkonsentrasjoner, dvs. $\frac{\text{fosfortransport}}{\text{vanntransport}}$

Søyler merket 0 er aritmetriske middelkonsentrasjoner.

Tilløpselver til Tinnsjøen

Av tilløpselvene til Tinnsjøen, Mår, Gøyst, Austbygdåi og Måna er det størst konsentrasjoner i de 2 sistnevnte som følge av at det er i disse nedbørfelt den største menneskelige aktivitet finner sted. I Måna øker konsentrasjonen fra ca. 5-6 µg P/l ved utløpet av Møsvatn til 11,2 µg P/l ved utløpet fra Mæl kraftverk. Dette har sammenheng med at store deler av kloakken fra Rjukan tilføres denne elva.

Mår og Gøyst derimot har lav konsentrasjon og må regnes som svært lite påvirket av menneskelig aktivitet.

Tilløpselver til Heddalsvatn og Norsjø

Tinnelva står for den største fosfortilførslen til Heddalsvatn. Til tross for den meget store vannføringen øker konsentrasjonen betraktelig på strekningen utløp Kloumannsjøen - innløp Heddalsvatn. Dette skyldes de store utslippene fra Notodden. Økningen er størst for de løste fosforfraksjonene. Konsentrasjonen av ortofosfat (LRP), som er direkte tilgjengelig for alger, blir mer enn fordoblet på denne strekningen. Heddøla og Bøelva har i flomperioder store konsentrasjoner av partikulært materiale, og dermed av fosfor. Dette skyldes dels erosjon av de store marine løsavsetningene i

nedbørfeltene, dels det intense jordbruket som finner sted i elvenes umiddelbare nærhet og dels kloakkutslipp. I Bøelva er det, som det fremgår av figuren, en markert økning av så vel partikulært fosfor (PP) som ortofosfat (LRP) mellom Øvrebø og Gvarv.

I Sauerelva er det også en betydelig økning av fosforkonsentrasjoner fra utløpet av Heddalsvatn og ned til innløpet i Norsjø. Økningen er størst for den partikulære og den løste ikke reaktive fraksjonen. Konsentrasjonen av ortofosfat øker derimot ikke på denne strekningen. Dette tyder på at erosjon av løsavsetningene i nedbørfeltet samt av elveleiet er hovedårsak til konsentrasjonsøkningen.

De andre elvene har relativt lave fosforkonsentrasjoner, hvilket gjør det vanskelig å avgjøre i hvilken grad de er påvirket av menneskelig aktivitet utfra kjemiske analyser alene. For en del av de nevnte elver er det gjort biologiske undersøkelser som kan bidra til å klarlegge dette.

Til slutt bør det legges merke til at P-konsentrasjonene i utløpene av Heddalsvatn og Norsjø ligger tydelig lavere enn konsentrasjonene i innløpene, hvilket indikerer en tilbakeholdelse (retensjon) av fosfor i innløpene. Dette behandles senere i kapittel om fosforbudsjett.

Biologiske undersøkelser i elver

Det er foretatt enkle undersøkelser av begroing samt bunnfauna i de elver hvor en skulle forvente effekter av menneskelig aktivitet. Det meste av disse undersøkelsene er foretatt i 1976 og publisert i fremdriftsrapport nr. 2. Fra denne undersøkelsen refereres her kun de områder hvor det var tydelige trekk ved flora og fauna som indikerer menneskelig påvirkning. Bunndyrundersøkelser foretatt i 1978 og som ikke er publisert før, presenteres i sin helhet.

Begroing

I Tokkeelva, nedstrøms Åmot samt i Måna ved Miland Camping ble det registrert elementer i begroingen som indikerer forurensning. Det bør her bemerkes at begge disse elvene har sterkt nedsatt vannføring som følge av

regulering. Dette medfører at forurensningene blir mer konsentrerte og påvirker vassdraget i større grad enn om det hadde vært naturlig vannføring.

I nedre del av Tinnelva, dvs. den delen som renner gjennom Notodden, er det registrert kraftig begroing av trådformede alger med store innslag av blågrønnalger. Det er også registrert heterotrof begroing (sopp, bakterier etc.) nedstrøms de mange kloakkutslippene som finnes her. Begroingen her er av en slik størrelse at det antas at gyteforholdene for fisk blir vanskeligjort.

Bunndyrundersøkelser

Generelt

Hovedfaktorene som bestemmer bunnfaunaens sammensetning i en elv kan grovt summeres slik:

- a) Strømhastighet. I et rolig avsnitt (eksempelvis en kulp) er det en helt annen fauna enn i et hurtigstrømmende parti (eksempelvis et stryk).
- b) Vannkjemiske forhold definert utfra nedbørfeltets naturgrunnlag.
- c) Tidspunkt på året. Da det meste av bunnfaunaen består av insektlarver som store deler av sommerhalvåret er flyvende insekter, må dette tas hensyn til ved innsamling og bearbeiding av data.
- d) Menneskelig påvirkning. Faunasammensetningen modifiseres av utslipp fra menneskelig aktivitet. Endringene er avhengige av størrelse og type utslipp.

Det er dette siste forhold en vanligvis ønsker å belyse ved en bunndyrundersøkelse. Som følge av pkt. b) kan det være vanskelig å trekke sammenligninger fra vassdrag til vassdrag. Påvirkninger nedover i samme elv kan imidlertid med relativt stor grad av sikkerhet påvises dersom det tas tilstrekkelig hensyn til pkt. a).

Undersøkelser i 1978

Ved denne undersøkelsen er det samlet inn kvalitative prøver fra stasjoner vist i fig. 19. Prøvene er samlet inn i april, dvs. før insektlarvene klekkes. For å kunne sammenligne resultatene så langt det er mulig, er mate-

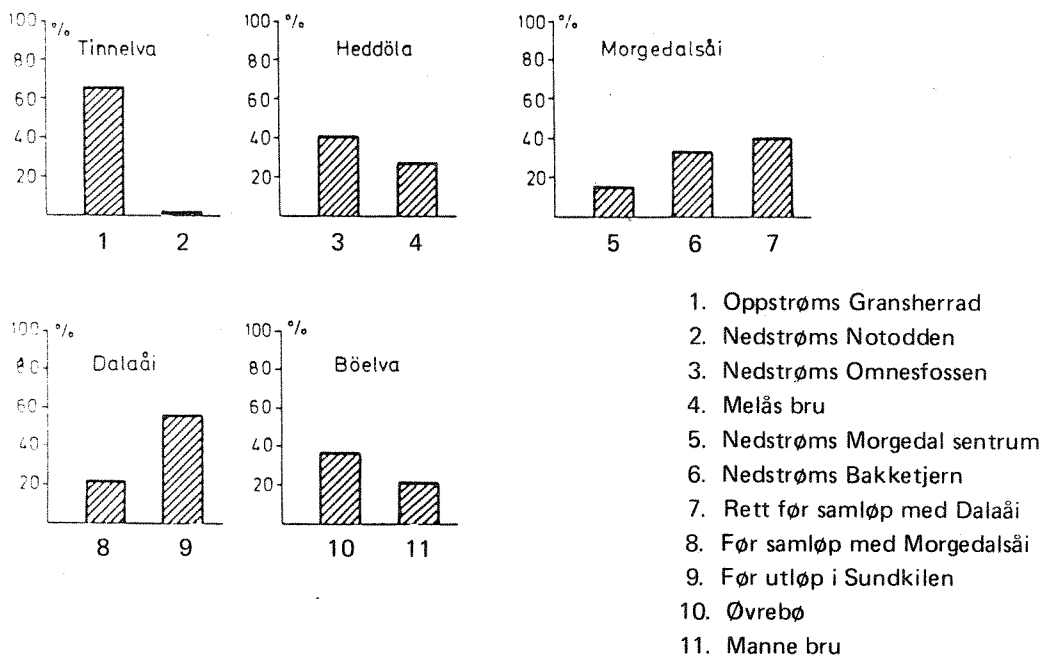


Fig. 19. Summen av steinfluelarver (Plecoptera) og knottlarver (Simulidae) som prosent av totaltbunndyrantall på de angitte stasjoner i april 1978.

rialet fra hver stasjon samlet inn ved samme type elveavsnitt, i dette tilfelle for grunne strykparti med middels stor strømhastighet.

Materialet er sortert i hovedgrupper og resultatene er ført opp i tabell A5 bak i rapporten. For å få den fulle forståelse av en slik bunndyrundersøkelse bør egentlig materialet sorteres til artsnivå, hvilket krever en uforholdsmessig stor arbeidsinnsats. En viss forståelse kan en imidlertid få ved å betrakte hovedgruppene steinfluelarver (Plecoptera) og knottlarver (Simulidae), samt fåbørstemark (Oligochaeta). Hyppigheten av de to første av disse gruppene viser avtak, mens den tredje gruppen pleier å vise hyppigere forekomst ved økende belastning fra menneskelig aktivitet.

I fig. 19 er summen av steinfluelarver og knottlarver fremstilt som % av det totale bunndyrantall på hver stasjon.

I Tinnelva er det en markert reduksjon av disse grupper fra den relativt upåvirkede øvre delen til der elva renner gjennom Notodden.

I Heddøla tyder det på at vannkvaliteten blir noe dårligere på strekningen Omnesfossen - Melås bru. Endringene er imidlertid små. Lenger ned i Heddøla

var det ikke mulig å finne relevante lokaliteter for innsamling av bunndyr, men en må kunne anta at vannkvaliteten får ytterligere preg av menneskelig påvirkning ned mot innløpet i Heddalsvatn.

For Bøelva tyder det også på at vannkvaliteten forringes noe på strekningene Øvrebø - nedstrøms Bø tettsted.

I Morgedalsåi og Dalaåi er mønsteret det motsatte, hvilket stemmer med at den største menneskelige aktivitet her finner sted i de øvre områder.

Konklusjoner fra bunndyrundersøkelsene i 1976 (NIVA 1977).

Av tilløpselvene til Tinnsjøen er det bare nedre del av Måna hvor det er registrert endringer i bunnfaunaen som tydelig forårsakes av forurensning.

I Heddalsvassdraget synes Hjartdøla tydelig påvirket, mens Tuddøla og resten av Heddøla synes lite påvirket. Dette er delvis i strid med hva som ble funnet i 1978, da Heddøla viste tegn på mer forurensning ved nedre stasjon enn ved øvre.

Bøelva synes lite påvirket, og det ser ikke ut til at Bø tettsted påvirker bunnfaunaen i vesentlig grad. Fra Eidselv-vassdraget er observasjonene så fåtallige at det er vanskelig å vurdere vannkvaliteten ut fra bunndyrundersøkelsen.

5. BAKTERIOLOGISKE UNDERSØKELSER

Veterinærene Hans Hoff, Skien og Arild Holmeby, Notodden har vært ansvarlig for de bakteriologiske undersøkelser. Resultatene som er gjengitt i figurene 20, 21, 22 og 23, er også vurdert av nevnte veterinærer med hensyn til vannets brukbarhet som drikkevann ut fra de veiledende krav Statens Institutt for Folkehelse stiller.

Generelle kommentarer

1. Flatdalselva, Seljord-, Bø- og Norsjøvassdraget.

I dette delnedbørfeltet er det først og fremst st. 7 som ligger i Bøelva nedstrøms Bø sentrum, som merker seg ut med høye verdier for coliforme bakterier, men Flatdalselva og Sauerelva er også sterkt bakteriologisk forurenset. På ingen av stedene er vannet uten videre egnet som drikkevann.

2. Vinje-, Tokke-, Morgedal- og Eidselva-vassdraget.

I henhold til analyseresultatene er vannets bakteriologiske tilstand nedstrøms Grungevatn, Vinjeåi, utløp Oftevatn, Dalaåi, Morgedalsåi og Eidselva ved Ulefoss til dels sterkt bakteriologisk forurenset. Særlig er forholdene i Dalaåi, Morgedalsåi og Eidselva betenkelig. Disse forhold har (bortsett fra Eidselva) uten tvil sammenheng med regulerte vassdrag og liten vannføring i elvene.

3. Måna, Gøyst, Mår, Austbygdåi og Tinnelva.

På alle prøvetakingssteder bortsett fra Måna v/Såheim og Tinnelva v/utløp Tinnsjø var vannet betydelig og til dels sterkt bakteriologisk forurenset. Særlig var forholdene betenkelige nedstrøms Rjukan og i Austbygdåi.

4. Tuddøla, Hjartdøla og Heddøla.

Bortsett fra en meget høy verdi den 15. september 1976 (under regnvær) var Tuddøla lite til moderat forurenset med coliforme bakterier. Både i Hjartdøla og Heddøla var bakterieverdiene vanligvis meget høye, og følgelig er vannet lite egnet som drikkevann.

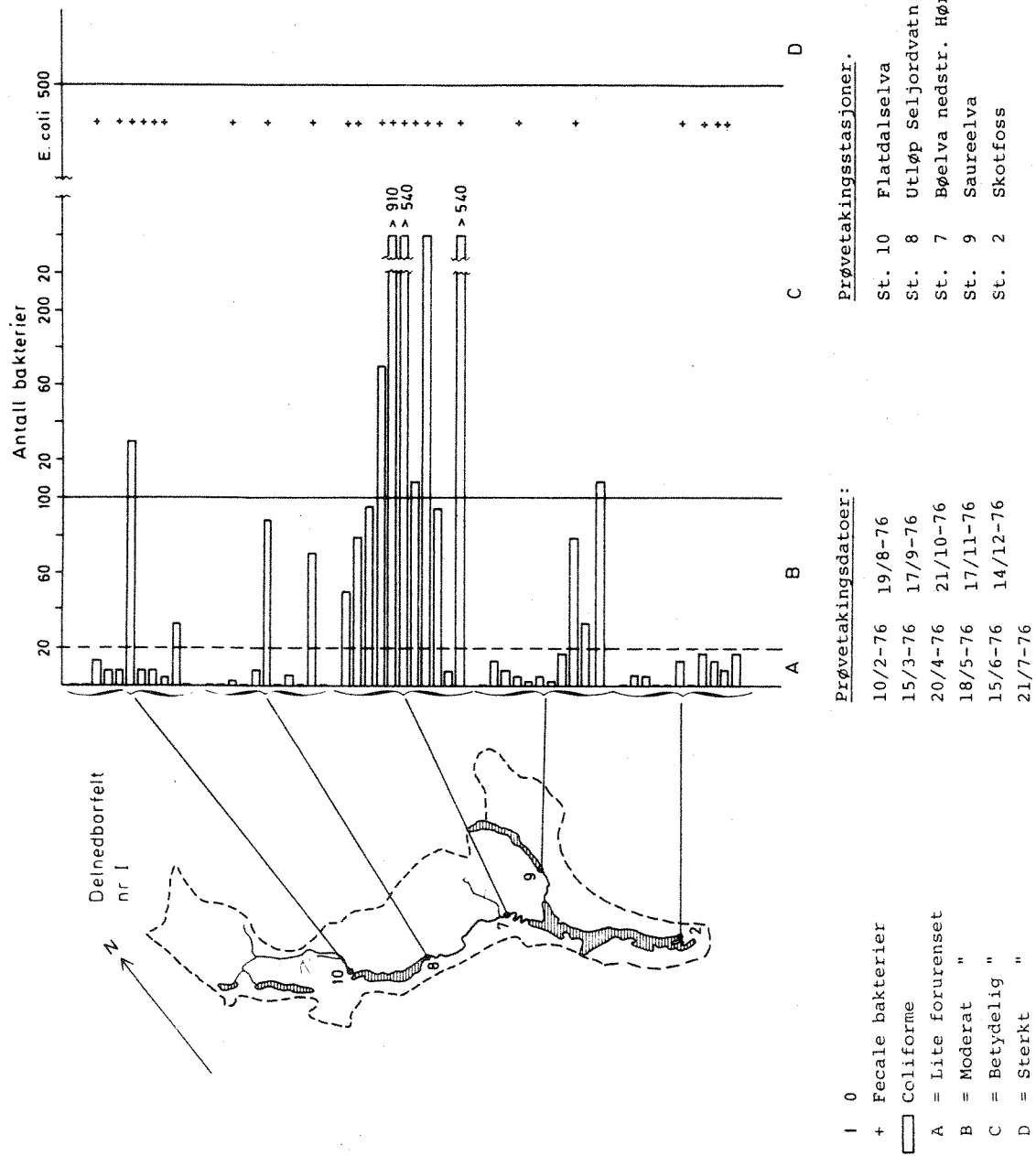


Fig. 20. Antall coliforme og fecale bakterier pr. 100 ml. vann ved prøvetakingsstasjonene i delnedbørfelt I i Telemarkvassdraget

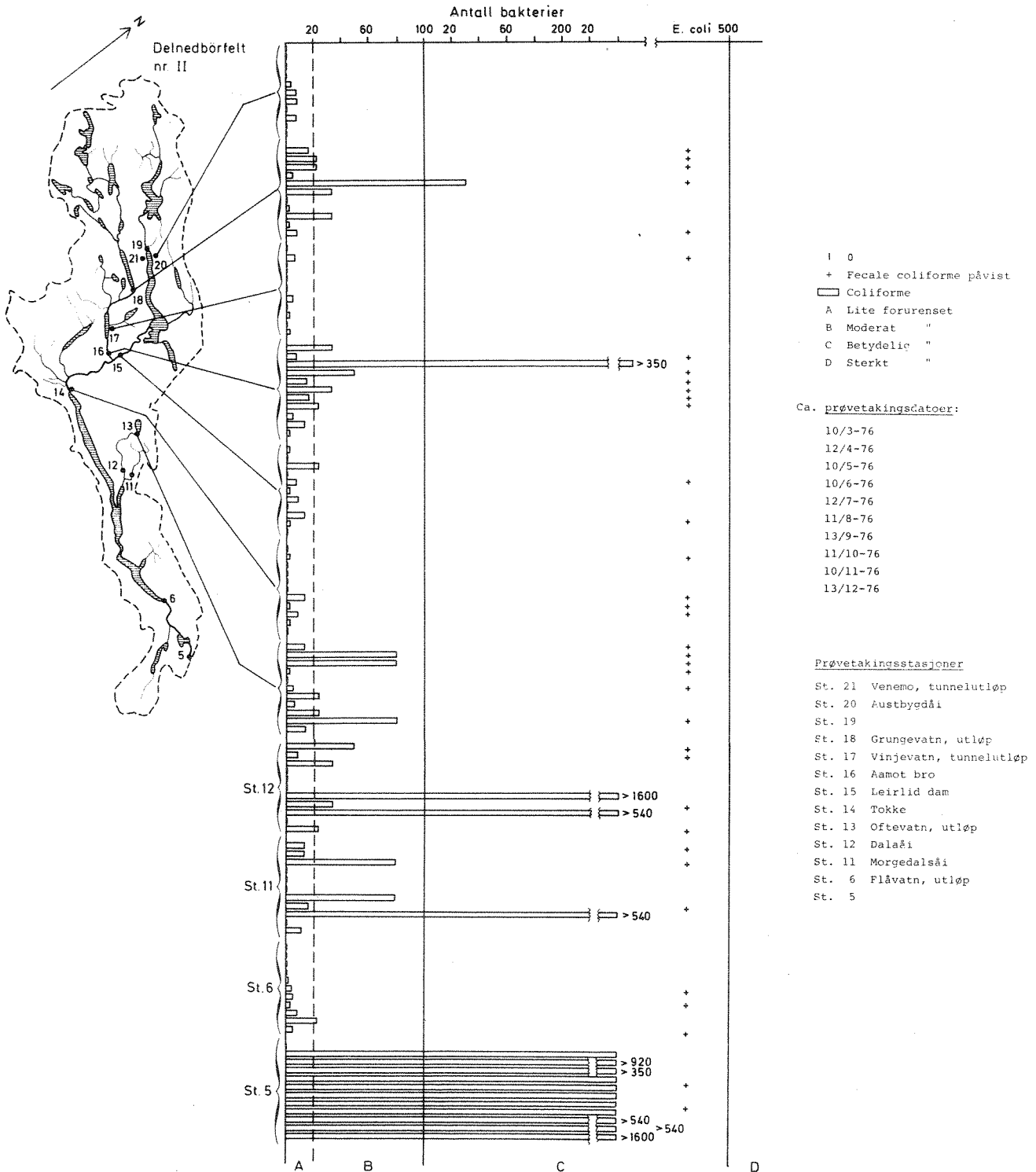


Fig. 21. Antall coliforme og fecale bakterier pr. 100 ml. vann ved prøvetakingsstasjonene i delnedbørfelt II i Telemarkvassdraget

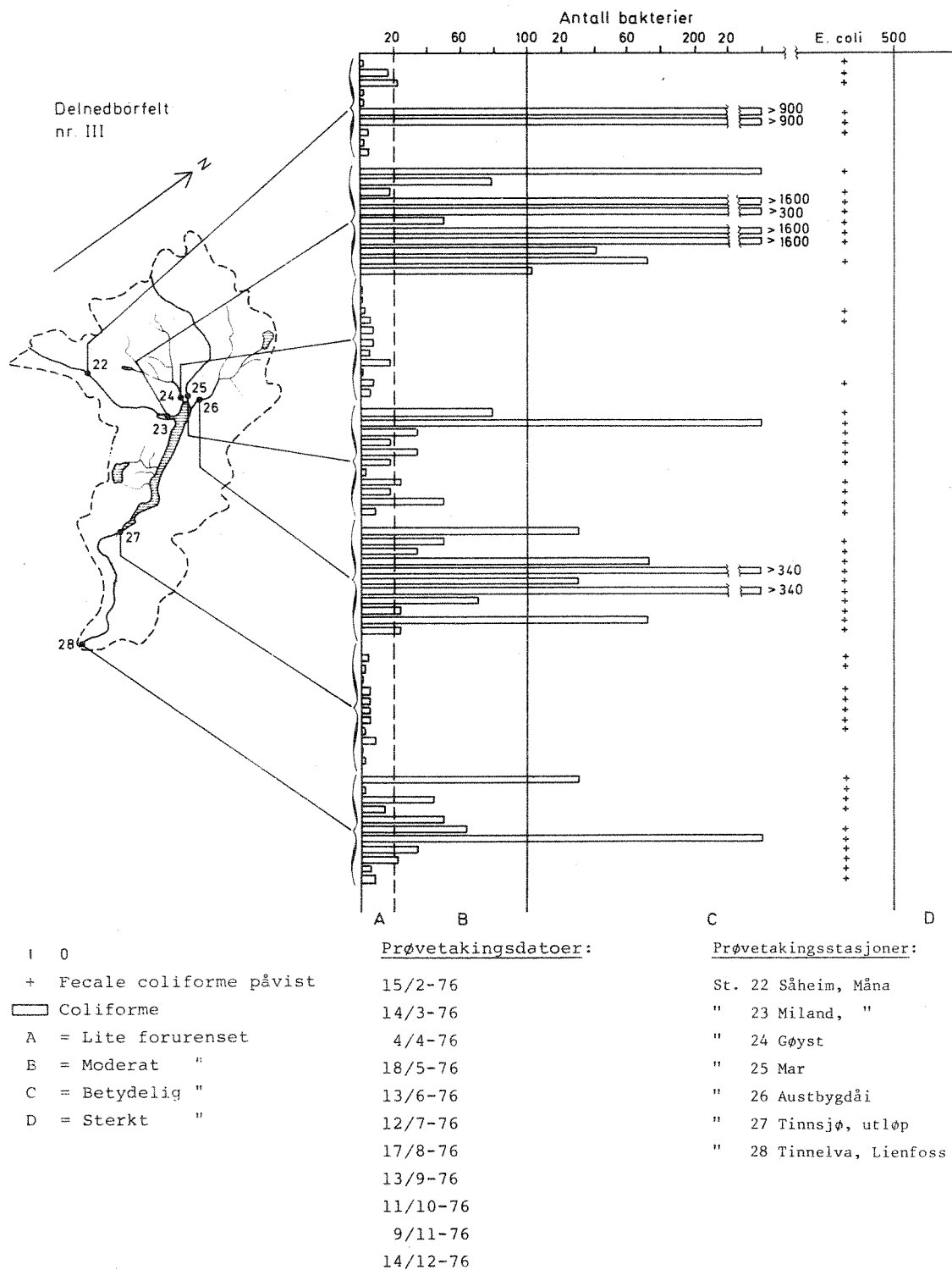


Fig. 22. Antall coliforme og fecale bakterier pr. 100 ml. vann ved prøvetakingsstasjonene i delnedbørfelt III i Telemarkvassdraget

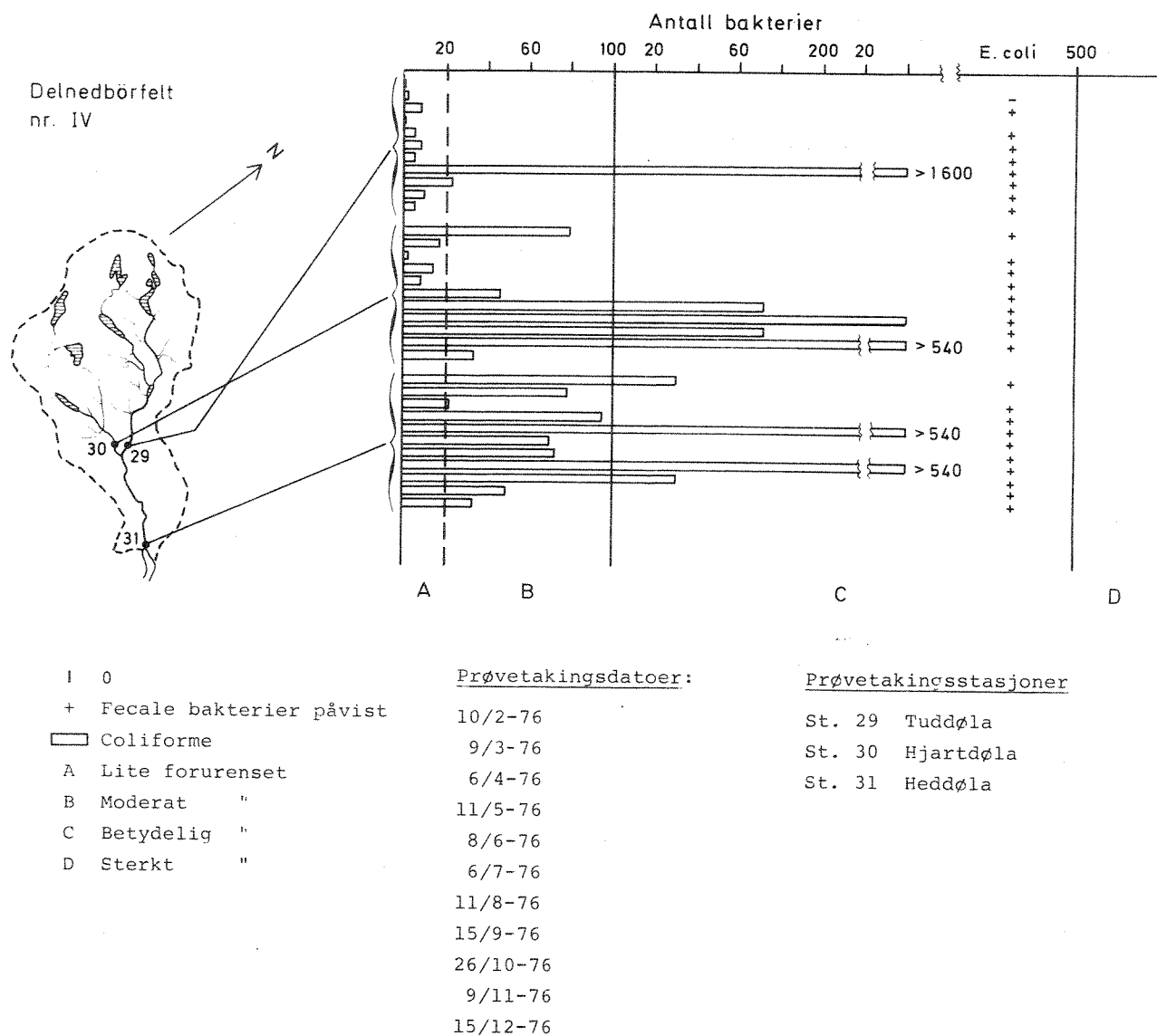


Fig. 23. Antall coliforme og fecale bakterier pr. 100 ml. vann ved prøvetakingsstasjonene i delnedbørfelt IV i Telemarkvassdraget

6. ATMOSFÆRISKE FOSFORTILFØRSLER

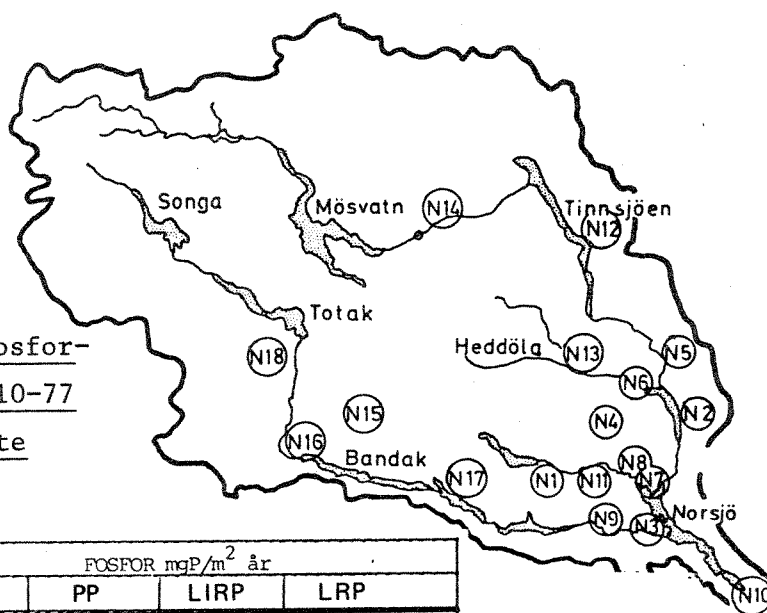
Senere års undersøkelser har vist at fosfortilførsler via nedbør og tørravsetninger direkte på innsjøoverflaten kan utgjøre en betydelig del av innsjøens totale fosfortilførsel (Sonzogni & Lee 1972, Murphy & Doskey 1976, Schindler et al. 1976). Det har også vist seg at fosforinnholdet i nedbør er svært variabelt og bør undersøkes innenfor hvert område hvor fosforbudsjettanalyser foretas. Nedbøren i industrialiserte områder eller områder med intensivt jordbruk inneholder høyere fosforkonsentrasjoner (Wetzel 1975). Det synes også å være konsentrasjonsforskjeller mellom det som faller på innsjøoverflaten og det som faller ned i nedbørfeltet, med andre ord en konsentrasjonsgradient fra land og utover i innsjøen. Som følge av at Telemarkssjøene er relativt smale, er det ved denne undersøkelsen gjort den tilnærmelsen å benytte nedbørfeller plassert på land som beregningsgrunnlag.

Denne undersøkelsen baserer seg på kontinuerlige målinger av nedbørmengde og fosforkonsentrasjon ved 18 nedbørstasjoner spredt rundt i Telemark fylke (tabell 4). For 12 nedbørstasjoner ble fosforprøvene fraksjonert, i de resterende 6 ble kun total fosfor analysert.

Av tabell 4 går det fram at variasjonen i nedbørmengden var relativt stor (595-1266 mm). Middelet for alle stasjonene, 866 mm, var nær 30 årsmiddelet for 9 av Meteorologisk Institutt's målestasjoner innen undersøkelsesområdet (830 mm/år).

Tilførselen av totalfosfor var i middel 34,1 mg P/m² år (variasjon 20-86) tilsvarende en middelkonsentrasjon på 39,4 µg tot P/l. Dette stemmer godt overens med resultater fra andre undersøkelser som er sammenfattet i tabell 5. Disse ga et middel på 43 mg P/m² år. De relativt store variasjonene (6-100 mg P/m² år) forklares med ulik påvirkningsgrad fra byer og jordbruksområder. Dette gir en høyere fosforkonsentrasjon på grunn av økt mengde partikulært materiale i luften (Murphy 1974).

Årsvariasjonen i det atmosfæriske fosforbidraget er illustrert i fig. 24. Tilførslene direkte på innsjøoverflaten i sommerhalvåret vil sannsynligvis være mer betydningsfulle for algene enn resten av året. Det går også fram at disse var større i denne perioden enn på vinterstid. En må anta at



Tabell 4. Atmosfæriske fosfor-tilførsler i perioden 10/10-77 til 10/10-78 på de angitte stasjoner.

Sted	Nedbørmengde mm/år	FOSFOR mgP/m ² år				
		TP	PP	LIRP	LRP	
N1	Øverbø	733	29.6	11.6	10.6	7.4
N2	Hed.vatn	684	19.9	11.4	5.4	3.1
N3	Sannes	774	20.8	7.5	4.6	8.7
N4	Resjem	1266	27.6	17.7	6.3	3.6
N5	Klou.sj.	773	22.7	13.6	5.5	3.6
N6	Yli	909	25.9	15.8	4.5	5.6
N7	Gvarv	893	27.4	15.4	5.9	5.9
N8	Hørte	896	32.4	15.0	10.5	6.9
N9	Lunde	942	30.4	17.1	8.6	4.7
N10	Skotfoss	1065	49.4	24.1	7.6	17.7
N11	Nordbø	781	38.2	26.2	8.2	3.8
N12	Hovin	595	86.4	15.9	7.1	6.5
N13	Hjartdal	1059	34.6			
N14	Rjukan	993	32.2			
N15	Høydalsmo	765	27.3			
N16	Dalen	797	19.8			
N17	Kviteseid	834	41.4			
N18	Åmot	792	48.5			
Middel	866	34.1	15.9	7.1	6.5	
			54%	24%	22%	

TP = Total fosfor
 PP = Partikulært fosfor
 LIRP = Løst ikke reaktivt fosfor
 LRP = Løst reaktivt fosfor
 (orto - PO₄)

Referanse	Land	mgP/m ² år
Bargh 1977	New Zealand	41
Schindler & Nighswander 1970	Canada	27
Schindler et al 1976	Canada	24-53
Dillon & Rigler 1975	Canada	75
Dillon 1975	Canada	77
Murphy & Doskey 1976	USA	10
Sonzogni & Lee 1974	USA	102
Sonzogni et al 1975	USA	108
Brakke 1977	USA	70
Duffy et al 1978	USA	41
Wetzel 1975	USA/Europa	10-100
Lvdokimova et al 1976	Sovjet	11-15
Happala 1977	Finland	14
Jansson 1977	Finland	6
Harremoes 1977	Danmark	10-40
Ahl & Oden 1975	Sverige	20
Middelverdi: 43 mgP/m ² år		

Tabell 5. Oversikt over atmosfærisk fosfortilførsel referert ved tidligere undersøkelser.

dette vesentlig skyldes økte fosfortilførsler til atmosfæren i form av støvpartikler, pollenkorn, insekter osv. i sommerhalvåret. Endringer i luftstrømmens dominerende retning vil også betinge ulik grad av langtransporterte fosforforbindelser. Det bør i denne sammenheng nevnes at sydlige vindretninger er langt mer fremtredende i sommerhalvåret enn om vinteren. Relativt mye nedfall av fosfor om sommeren kan derfor ha sammenheng med at forurenset luft fra f.eks. Grenlandsområdet transporteres innover i fylket.

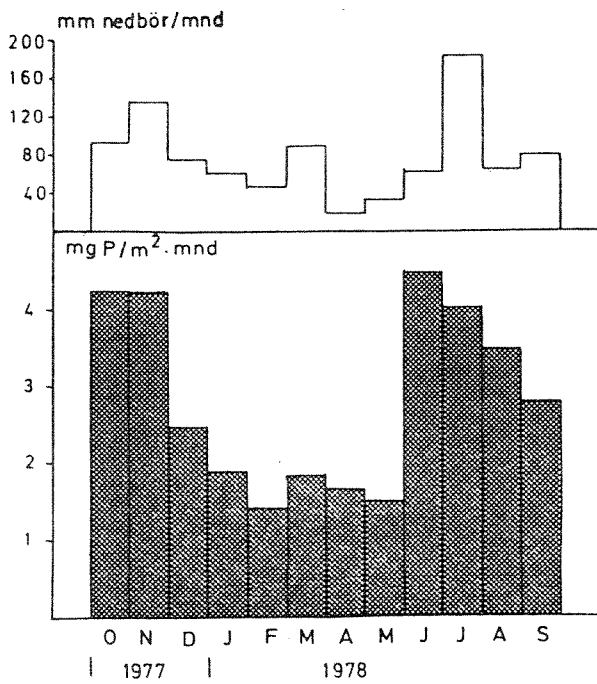


Fig. 24. Månedlig atmosfærisk fosfortilførsel og månedlige nedbørmengder i perioden okt. 77 - okt. 78. Fosfortilførslene er middelerverdier fra 18 nedbørstasjoner i Telemark. Nedbørmengdene er middelerverdier fra 9 meteorologiske stasjoner innenfor undersøkelsesområdet.

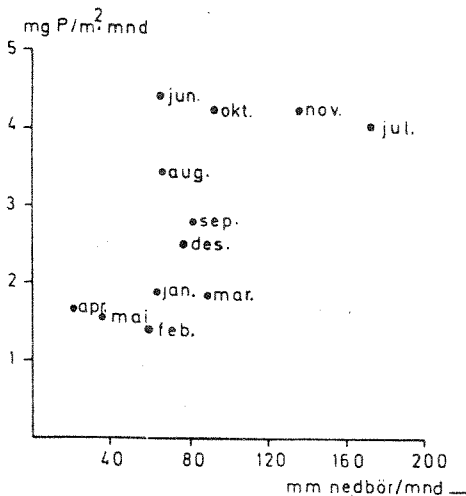


Fig. 25. Månedlig fosfortilførsel som funksjon av nedbørmengde. Beregningsgrunnlaget er det samme som ved fig. 24.

Konsentrasjonen av fosfor i nedbørvannet varierte relativt mye. Sammenhengen mellom nedbørmengde og fosfortilførsel på månedsbasis var svært dårlig (fig. 25). Dette skyldes at det var andre forhold som var bestemmende, slik som hyppighet og varighet, regnskyll, vindretning og styrke, samt variasjon i kildenes størrelse med årstiden (herunder pollen, jordbruk, industri etc.).

Forholdet mellom fosforfraksjonene er vist i tabell 4. Dette varierte relativt mye mellom de ulike stasjonene. Middelerdien for alle stasjonene viste imidlertid at hele 22% av totalfosforen forelå som løst reaktivt fosfor (LRP). Da en vet at LRP er direkte tilgjengelig for algevekst, er det klart at atmosfærisk fosfortilførsel kan være av stor betydning for algeveksten i mange innsjøer.

Hvor mye atmosfærisk tilførsel direkte på overflaten utgjør av en innsjø's samlede fosforbelastning, er i naturlige områder avhengig av forholdet mellom innsjøens areal og nedbørfeltets areal (med naturlige områder menes her at utslipp fra menneskelig aktivitet er av liten betydning).

På bakgrunn av observasjonsresultatene fra denne undersøkelse er andelen av fosforbidraget fra atmosfæren ført opp for endel av de undersøkte Telemarksjøene i tabell 6. Dette utgjør mellom 0,5-7,2% av totalbelast-

Tabell 6. Total årlig fosfortilførsel, og atmosfærisk tilførsel direkte på innsjøoverflaten. Atmosfærisk tilførsel er estimert ut fra middelet av 18 nedbørstasjoner i Telemark 1977/78.

	Innsjø	tot P Tilførsel kgP/år	P Tilførsel Nedbør kgP/år	%
MÅLTE TILFØRSLER	Heddalsvatn	50620	228	0.5
	Norsjø	85475	1888	2.2
	Mjøsa	230000	12447	5.4
	Tinnsjøen	30479	1739	5.7
	Tyrifjorden	70001	4573	6.5
	Seljordvatn	6079	440	7.2
	Eikeren	4559	941	20.6
TEORETISK BEREGNA TILFØRSLER	Kviteseidvatn	23180	477	2.1
	Sundkilen	2570	85	3.3
	Storsjøen Rendalen	26117	1705	6.5
	Ossjøen	17980	1415	7.9
	Randsfjorden	33800	4668	13.8
	Storsjøen Odalen	6465	1511	23.4
	Hurdalsjøen	4580	1149	25.1
	Femunden	13980	6888	49.3

ningen til innsjøen. Effekten på algesamfunnet vil relativt bli noe større da andelen LRP i nedbøren er større enn i tilførslene forøvrig (se også tabell 4). Med utgangspunkt i nedbørdata (Metr. Inst.) og ovennevnte konsentrasjonsverdi for fosfor, er fosfortilførselen via nedbøren beregnet også for flere innsjøer på Østlandet. Tilførslene til disse innsjøer må imidlertid bare betraktes som orienterende. Det samme gjelder de totale fosfortilførsler (som i de fleste tilfeller er teoretisk beregnet).

7. AVRENNING AV FOSFOR OG PARTIKULÆRT MATERIALE FRA TYPEOMRÅDER

En nødvendig del av tilførselsberegninger av fosfor til en innsjø er å kvantifisere tilførsler fra nærområder. Med nærområder i denne sammenheng menes områder som ikke dekkes av nedbørfeltene til de tilløpselvene det tas målinger i. Ved beregning av fosfortilførsel fra byer og tettsteder benyttes kjente verdier for personbidrag, samt at tilførsler fra industri m.v. kartlegges.

Ved beregning av tilførsler fra spredt bebygde jordbruksområder og fra skogområder, kan en bruke kjente fosforeksportkoeffisienter, men disse må kunne sies å være mangelfullt kjent for norske forhold. Vanligst benytter en fosforeksportkoeffisienter fremkommet ved lysimeterforsøk ved NLH (Stortingsmelding nr. 71 1972/73). Utover dette er det mulig å støtte seg på resultater referert ved utenlandske undersøkelser, men til disse knytter det seg også en del usikkerheter. Dette delvis på grunn av at resultatene er fremkommet på forskjellig beregningsgrunnlag, og delvis at undersøkelsene er foretatt i vidt forskjellige områder både hva menneskelig aktivitet og naturgrunnlag angår.

For å komme fram til relativt sikre eksportkoeffisienter ved tilførselsberegninger til Telemarkinnsjøene, fant en det nødvendig å foreta en undersøkelse av avrenningen av fosfor og partikulært materiale fra nedbørfelt av forskjellig karakter (typeområder). Av praktiske hensyn ble denne undersøkelsen lagt til Bødalen.

Materiale og metoder

Avrenningsundersøkelsen omfatter observasjoner fra 18 typeområder (se fig. 26) i en ett-årsperiode (okt. 1977 - okt. 1978). 6 av disse er undersøkt

av Jan Ole Bolsø som fordypingsoppgave ved TDH (i manuskript). Prøvene ble tatt hyppigst i flomperiodene, og fra de enkelte nedbørfelt varierer antall observasjoner fra 29 til 35.

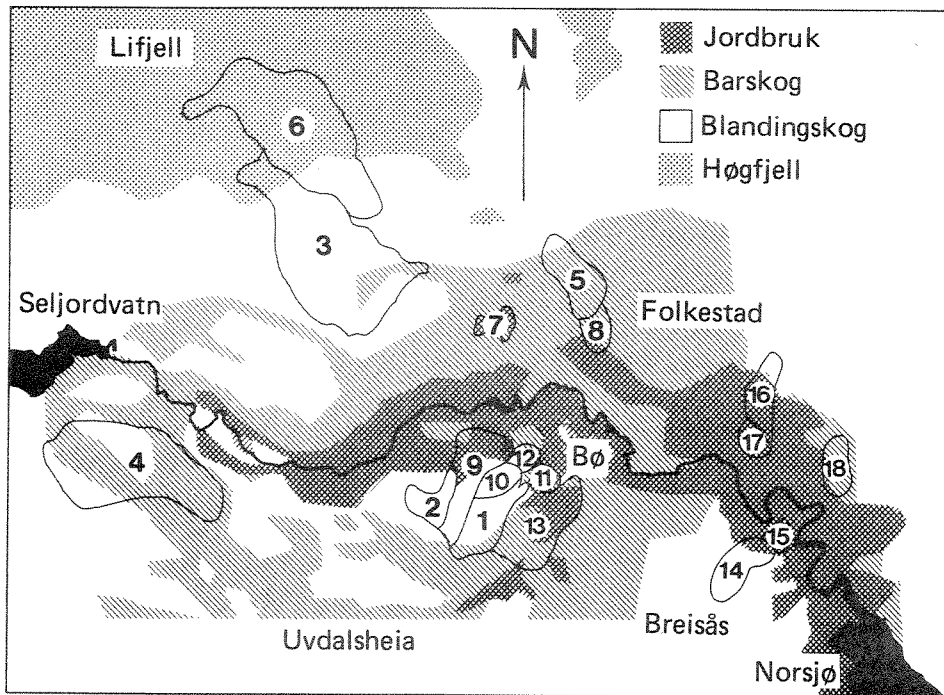


Fig. 26. Oversikt over delnedbørfeltenes beliggenhet i Bødalen.

Totalkonsentrasjonen av fosfor (TP), og partikulært materiale (PM), ble analysert, og splittet til henholdsvis tre og to fraksjoner (se tekst tabell A6).

Ut fra konsentrasjonen i avrenningsvannet, og ved beregning av vannføring etter saltfortynningsmetoden (kontinuerlig tilsetning) ble transporten av fosfor og partikulært materiale beregnet (se tabell A7) (vannføring ble målt hver gang det ble tatt prøver). Først ble eksportkoeffisienten for rene skognedbørfelt beregnet. Ved å anta at en finner en tilsvarende eksport fra skogandelen i nedbørfeltet med jordbruk, kunne eksporten estimeres fra de rene jordbruksarealer.

Beskrivelse av typeområdene

Samtlige nedbørfelter ligger i Bødalen med drenering til Bøelva. Nedbørfeltene beliggenhet er vist i fig. 26.

Fem nedbørfelt ligger i typiske skogområder, ett i høgfjellet, mens i 12 av nedbørfeltene er det varierende innslag av jordbruksarealer.

I nedbørfeltene med jordbruk er befolkningen stort sett tilknyttet gårdsdrift, og befolkningstettheten er i middel 74 personer pr. km² jordbruksareal. En grundig kartlegging av jordbruksdrift, dyrehold og sanitæravløp i typeområdene er utført av plan- og utbyggingsavdelingen i fylkeskommunen ved Toril Lohne m.fl. (Se tabell A8.)

Berggrunnsgeologisk består Bødalen av næringsfattig grunnfjell, og løsavsetningene i nedbørfeltene i skog- og fjellområder består for det meste av morene, med noe innslag av glacifluviale avsetninger. I nedbørfeltene med jordbruk ligger jordbruksarealene vesentlig på avsetninger av marin og fluvial opprinnelse.

Resultater og diskusjon

Fosfor

Midlere fosforeksport fra skogområdene og fra jordbruksområdene er fremstilt v/fig. 27 og tabell A6.

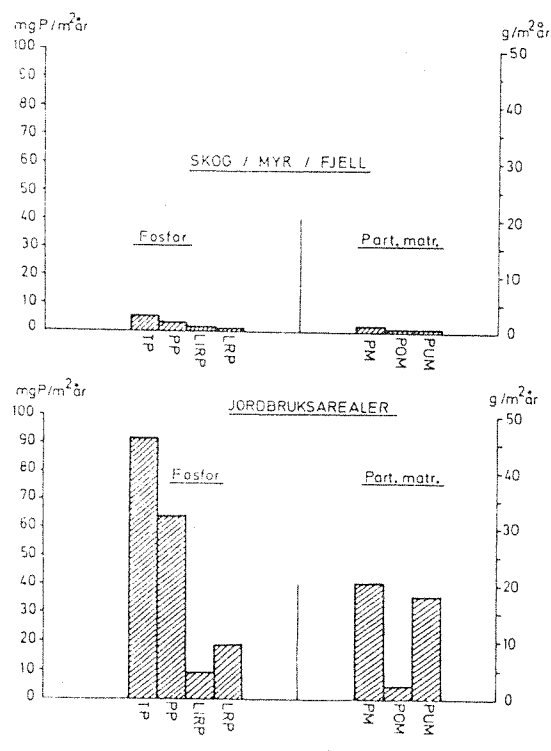


Fig. 27. Midlere eksport av fosfor og partikulært materiale fra 6 nedbørfelter bestående av skog/myr/fjell og fra jordbruksarealene i 12 nedbørfelt med vekslende arealandel jordbruk (6-86%). All menneskelig aktivitet er inkludert.

Tegnforklaring: Fosfor:

- TP = total fosfor
- PP = partikulært fosfor
- LRP = løst reaktivt fosfor (ortofosfat)
- LIRP = løst ikke reaktivt fosfor

Partikulært materiale:

- PM = partikulært materiale
- PUM = partikulært uorganisk materiale (gløderest)
- POM = partikulært organisk materiale (glødetap)

Resultatene viser en betydelig større fosfortransport fra jordbruksarealene enn fra skogområdene. Eksporten fra skogområdene var i middel for nedbørfeltene $5,8 \text{ mg P/m}^2$ år (variasjon 3,4 - 9,0). Eksporten fra jordbruksarealene var i middel $91,7 \text{ mg P/m}^2$ år for de 13 nedbørfelter. (Variasjon 17-289). Jordbruksarealene utgjorde 34% av disse nedbørfeltenes samlede areal. Fra jordbruksarealer foreligger fosforet i større grad i form av parikulært fosfor og løst reaktivt fosfor enn fra skogsområder. Dette antas å ha sammenheng med overflateerosjon av silt og leire fra jordbruksarealene, i tillegg til at disse nedbørfeltene er belastet med sanitærutslipp, og noe avløp ved dyrehold.

Sammenligning med andre undersøkelser

I tabell 7 er det ført opp en del fosforeksportkoeffisienter referert ved tidligere undersøkelser. Koeffisientene som er fremkommet ved disse utenlandske og norske undersøkelsene, er beregnet på forskjellig grunnlag. Ved de fleste beregningene er eksportkoeffisientene for jordbruksområder et samlet uttrykk for fosforeksporten fra nedbørfelter i jordbruksdistrikter. Det er følgelig ikke korrigeret for innslag av skogområder, og det er heller ikke tatt hensyn til befolkningstettheten i nedbørfeltene. Middelet av de refererte eksportkoeffisientene er for skogområder 10 mg P/m^2 år.

Middelet for skognedbørfeltene i Bødalen er $5,8 \text{ mg P/m}^2$ år. Dette er vesentlig lavere enn verdier sitert i tabell 7. De refererte verdiene har en betydelig større spredning, og dette har sammenheng med at undersøkelsene er foretatt i områder med forskjellig nedbørintensitet og geologi m.v. Imidlertid synes undersøkelser fra områder som er sammenlignbare, å gi like resultater. Dillon & Kirchner (1974) fant at fosforeksporten fra skognedbørfelt i det canadiske grunnfjell-området i middel var 5 mg P/m^2 år, et resultat av samme størrelse som ved undersøkelsen i Bødalen.

For å kunne sammenligne eksportkoeffisienter fra jordbruksområder i Bødalen med de nedenstående eksportkoeffisienter, ble middelverdien for jordbruksnedbørfeltene beregnet på tilsvarende måte som ved de refererte undersøkelser. (Dvs. ikke korrigeret for skogandel.) Dette gir en midlere eksport på 43 mg P/m^2 år, noe som er en del lavere enn middelverdien fra de refererte undersøkelser (58 mg P/m^2 år).

Tabell 7. Oversikt over fosforeksporkoeffisienter (mg P/m² år) fra skog-
områder og fra jordbruksområder referert ved tidligere under-
søkelser.

Referanse	Land	Skogområder mgP/m ² år	Jordbruksområder mgP/m ² år
Dillon & Kirchner 1974	Canada	5	46
Owen & Johnson 1966	Canada		24
Harrow 1966	Canada		33
Cambell & Webber 1966	Canada		17
Likens & Borman 1974	USA/Canada	12	
Sonzogni & Lee 1974	Canada/USA		26
Sonzogni & Lee 1974	USA		60
Wanielista 1977	USA		105
Witzel et al 1969	USA		123
Witzel et al 1969	USA		67
Zitter 1969	USA		59
Zitter 1969	USA		90
Gardner 1971	USA		17
Sawyer 1947	USA		45
Englebrecht & Morgan 1961	USA		23
Jawovski & Hetling 1970	USA		24
Timmons et al 1968	USA		24
Mackenthun & Ingram 1967	USA		45
Duffy et al 1978	USA	30	
Bargh 1976	New Zealand	24	
Jaag 1972	Sveits		102
Gächter & Furrer 1972	Sveits	0-4	35-69
Owens 1970	England		56-235
Mussaari 1977	Finland	11	
Larsen 1977	Danmark		20
Ahl 1973	Sverige	6	50-60
Ahl & Oden 1975	Sverige	6	15
Brink & Gustavson 1970	Sverige	6.5	9
Brink 1975	Sverige	4	1-214
Berglund et al 1977	Sverige		10-200
Forsberg & Ryding 1977	Sverige		20
St.meld. 71 72/73	Norge		8
Uhlen 1978	Norge		97
Middelverdi:		10 mgP/m ² år	60 mgP/m ² år

Hvor stor del av fosforeksporken fra jordbruksområder kommer fra dyr/
mennesker, og hvor mye kommer fra dyrket mark?

Ved å kartlegge sanitæravløp har en forsøkt å beregne betydningen av denne fosforkilden i forhold til den andel som stammer fra dyrket mark.

For å beregne fosforeksporken fra dyrket areal, tok en utgangspunkt i fem nedbørfelt med få mennesker (n = 5, 8, 11, 14 og 30). Ut fra den vurdering at gjødsel fra dyrehold i disse nedbørfeltene i vesentlig grad blir spredt på dyrket mark, og derfor må sees som en del av driften av jorden, gjelder følgende forhold:

Fosfor-eksport fra dyrket areal = Tot. eksport fra jordbruksområder
- eksport fra sanitærløp.

Ved beregningen av fosforeksport er følgende momenter tatt i betraktning:

- Utslippets størrelse
- Utslippets art:
 - a) Direkte eller via septiktank
 - b) Ved infiltrasjon i grunnen
 - Her er det tatt hensyn til avstand til vassdraget,
og grunnforholdenes egnethet for infiltrasjon.

Ved å bruke en brutto tilførsel fra mennesker på 1,0 kg P/år (Nordforsk 1975:1), og ved å beregne hvor mye som når vassdraget ut fra ovennevnte kriterier, kommer en fram til:

Midlere eksport fra dyrket mark i de fem nedbørfeltene 74 mg P/m² år

I Bødalen tilføres dyrka mark 60 kg kunstgjødsel pr. da og år. Viktigste gjødseltype er fullgjødsel D og C (Herredsagronomen i Bø).

Dette tilsvarer ca. 3 gram total fosfor tilført pr. m² år. Ut fra dette utgjør fosforeksporten (74 mg/m² år) ca. 2,5% av tilført fosfor som kunstgjødsel. Denne prosentandelen ligger noe høyere enn hva tidligere beregninger har vist (Gächter 1973: 0,7-1,4%, Ahl & Oden 1975: 0,4%, Eikerenutvalget 1978: 1,5%). En relativt stor eksport av fosfor fra dyrket mark forklares ved at jorden i lange perioder av året er blottlagt for overflateerosjon. En vesentlig del av fosforeksporten skjer ved vår- og høstflommen.

Fosforeksportens variasjon over året

Midlere månedlig fosforeksport fra jordbruksarealer er fremstilt i fig. 28.

Fosforeksporten var størst vår og høst, og har sammenheng med høy vannføring og stor overflateerosjon av dyrket mark, bekkeleier m.v.

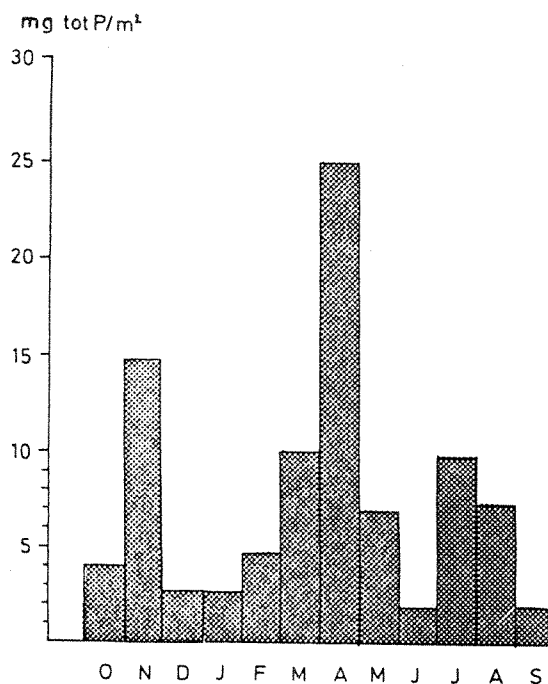


Fig. 28. Månedlig fosforekspert fra jordbruksarealene i 13 nedbørfelt i perioden okt. 1977 - okt. 1978.

Om vinteren er fosforeksperten liten og relativt stabil som følge av lave vannføringer og minimal overflateerosjon. Fosforeksperten i sommermånedene antas å være høyere enn normalt, på grunn av uvanlig store nedbørmengder.

Hydrologisk budsjett og fosforbudsjett i fem skognedbørfelt

Generelt vil det i et nedbørfelt over en lengre periode være balanse mellom tilførsel av vann fra nedbør og avrenningsvann/fordunsting. I tillegg til at fosfor tilføres via nedbør og tørravsetninger, foregår det en naturlig løsning av fosfor fra jordartene ved forvitring. Denne fosforkilden antas å være av relativt liten betydning, idet berggrunnen i området består av næringsfattig grunnfjell. Samtidig vil fosfor i stor grad bindes i jordsmonnet og akkumuleres i vegetasjonen, noe som fører til en netto tilbakeholding (retensjon).

Budsjett for vann og fosfor fra fem skognedbørfelt i Bødalen er vist i tabell 8.

Som bakgrunn for beregningene av tilførsler av vann og av fosfor til nedbørfeltene er 3 nedbørstasjoner i Bødalen benyttet.

Tabell 8. Hydrologisk budsjett og fosforbudsjett for 5 nedbørfelt
bestående av skog/myr.

Nedb.felt	Hydrol.budsjett		Fosforbudsjett		
	Tilførsel l/km ² ·s	Avrenning l/km ² ·s	Tilførsel mg totP/m ² år	Avrenning mg totP/m ² år	Retensjons- koeff. $R = 1 - \frac{P_{ut}}{P_{inn}}$
1	25.9*	27.6	33.4**	6.2	0.81
2	25.9	22.1	33.4	3.4	0.90
3	25.9	24.8	33.4	6.2	0.81
4	25.9	24.2	33.4	5.6	0.83
5	25.9	18.1	33.4	4.6	0.86
Middel	25.9	23.4	33.4	5.2	0.84

* Middelerverdi for 3 nedbørst. i området (24.5, 28.4, 24.8 l/km²·s)

** Middelerverdi for 3 nedbørst. i området (29.6, 32.4, 38.2 mg P/m² år)

Avrenningsmålingene viser at noe vann (2,6 l/km² s) forsvinner ved evapotranspirasjonen eller eventuelt transporteres ut som grunnvann.

Fosforbudsjettet viser at det finner sted en stor tilbakeholding av fosfor (retensjon) i skognedbørfeltene. Retensjonen varierer i området 81-90% ($\bar{x} = 84\%$), og er av samme størrelse som Schindler et al. 1976 fant i det canadiske grunnfjellsområdet ($\bar{x} = 83\%$).

Partikulært materiale

Fosfor foreligger i stor grad bundet til partikler (se tabell A6) og eksporten av fosfor må derfor sees i sammenheng med transporten av partikulært materiale.

Midlere eksport av partikulært materiale fra skognedbørfelt og fra jordbruksarealer er vist i fig. 27 og tabell A6.

Resultatene viser en betydelig større materialtransport fra bruksarealer enn fra skogområder. Eksporten fra skogområdene var i middel for 6 nedbørfelt 0,8 qPM/m² år, og fra jordbruksarealer 40,4 qPM/m² år.

Fra skognedbørfeltene er forholdet mellom den organiske fraksjonen (POK) og uorganiske (PUM) 1:1. Fra jordbruksarealer derimot dominerer den uorganiske fraksjonen i forholdet POM:PUM 1:16. Dette forklares ved overflateavrenning av relativt moldfattig dyrkningsjord, og ved erosjon av silt/leirerike avsetninger i bekkeløper m.v.

8. FOSFORTILFØRSLER

Transporten i alle tilførselselvene ble beregnet som produktet av konsentrasjon (målt ukentlig eller hver 14. dag) og vannføring (oppgitt fra kraftverk og fra NVE).

Tilførslene fra jordbruks/skogarealer i nærområdet, dvs. områder som ikke drenerer til elvene, ble beregnet ut fra eksportkoeffisienter funnet ved avrenningsundersøkelsen i Bødalen.

Den atmosfæriske tilførselen ble beregnet ved å multiplisere den midlere koeffisient som fremkom ved nedbørundersøkelsen ($34,1 \text{ mg P/m}^2 \text{ år}$, se side 42) med innsjøens areal.

Direkte utslipp til innsjøene, fra Notodden, Gvarv, Akkerhaugen og Ulefoss ble beregnet etter opplysninger hentet fra kommunale etater angående antall personekvivalenter. I de tilfeller hvor det ikke var noen rensing ble $1 \text{ kg tot P/person og år}$ (ca. $2,8 \text{ g P/person og døgn}$) benyttet. Hvis det var noen form for rensing, ble effektiviteten vurdert ut fra anleggets type. Tilbakeholdelse av fosfor fra avløp med infiltrasjoner i grunnen er avhengig av løsmassenes beskaffenhet samt utslippets avstand fra vassdraget og er derfor vanskelig å fastslå eksakt. Som middel er det her regnet med 70% fosforreduksjon ved slike avløp.

Fosfortilførslene ble delt inn i tre kategorier:

A. Naturlig tilførsler. Med dette menes tilførsler som ikke direkte kan settes i forbindelse med menneskelig aktivitet, dvs. atmosfæriske tilførsler direkte på innsjøoverflaten, avrenning fra skog/myr/fjellområder, samt en naturlig bakgrunnsavrenning fra jordbruksarealer ($8 \text{ mg P/m}^2 \text{ år}$, cf. St. meld. 71 72/73).

B. Kunstige tilførsler som er vanskelig/umulig å fjerne/reduere. Med dette menes diffuse tilførsler, avrenning fra dyrket mark, rest fra renseanlegg etc.

C. Kunstige tilførsler som er mulig å fjerne ved rensing i kjemiske feltingsanlegg.

Denne tilførselsanalysen vil gi en oversikt over størrelsesordnen av de ulike kildene (1978) samt å gi oversikt over hvor mye det er mulig å fjerne ved rens tiltak.

Tilførselsberegningene er basert på grundigere målinger i Heddalsvatn og Norsjø enn i Seljordvatn og Tinnsjøen. For Sundkilens vedkommende er beregningen i hovedsak teoretisk i det den baseres på avrenningsstudiene i Bødalen, opplysninger fra kommunen samt spredte målinger foretatt av NIVA.

Heddalsvatn

Fosfortilførslene til Heddalsvatn er vist i tabell 9.

Totalt mottar denne innsjøen ca. 50,6 tonn fosfor i året, hvorav 29,3 tonn (58%) kan henføres til naturlige kilder. Av de resterende 21,2 tonn kommer 7,2 tonn (14,2%) fra kunstige kilder som er vanskelig/umulig å fjerne eller redusere. 14 tonn kan fjernes ved effektive rens tiltak i Notodden-Yli/Strupa-området. Dette utgjør hele 27,7% av totalbelastningen. Relativt mye av dette er løst reaktivt fosfor (ortofosfat), som er direkte tilgjengelig for alger. Denne delen antas derfor å ha stor betydning for algeveksten i Heddalsvatn. Hvis disse 14 tonn blir fjernet, vil middelkonsentrasjonen av total fosfor i innløpet reduseres fra 12 til 8,7 $\mu\text{g P/l}$. Bidraget

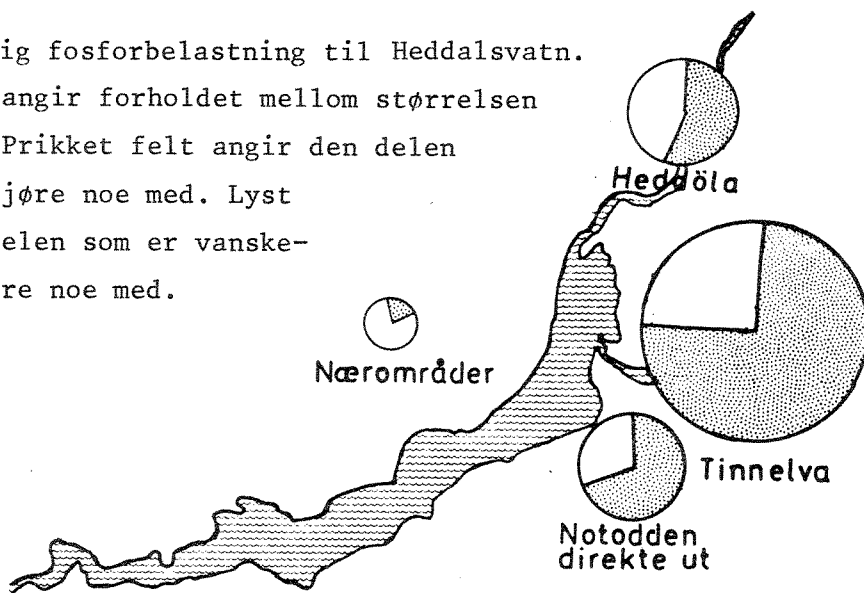
Tabell 9. Fosfortilførsler til Heddalsvatn 1977-78. Tabellen angir antall kg total fosfor som føres fra de ulike kildene pr. år. I kolonnene til høyre er også vannbudsjett (D) og middelkonsentrasjonene i innløpene ført opp (E).

	A+B+C	A	B	C	D	E
	1977-78	Naturlig	Kunstig: vanskelig/umulig å gjøre noe med	Mulig å fjerne ved rensing	H ₂ O 10 ⁶ m ³ /år	- [P]
Tinnelva	35838	22392	4034	9412	3226.5	11.1
Heddøla	9368	5694	1518	2156	838.5	11.2
Notodden direkt.ut.	3300	-	990	2310	-	
Næromr. skog/myr	215	215	-	-	55.5	20.4
Næromr. jordbr.	920	80	660	180		
Nedbør	228	228	-	-	-	
Hjukseelva	751	751	-	-	99	7.6
Total tilførsel	50620	29360	7202	14058	4219.5	12.0

av fosfor fra atmosfæren er svært ubetydelig, ca. 0,5% av totalbelastningen. Dette henger sammen med innsjøens store gjennomstrømning, som generelt fører til en redusert betydning av de atmosfæriske tilførslene.

Fig. 29 viser den kunstige belastningen av Heddalsvatn og den relative betydning av de ulike kildene, Tinnelva (inklusive den delen av Notodden som drenerer ut i denne) sammen med de direkte tilførsler fra Notodden til innsjøen er dominerende. En ikke ubetydelig del kommer også med Heddøla hvor tilførslene fra nedre del av Heddal er en viktig andel. Den resterende del av nedbørfeltet (kalt nærområder) har svært liten betydning for den totale belastning av Heddalsvatn. Det er derfor klart at anstrengelsene med hensyn til sanering av fosfortilførslene bør konsentreres om Notodden by og nedre del av Heddal.

Figur 29. Kunstig fosforbelastning til Heddalsvatn. Sirklenes areal angir forholdet mellom størrelsen av tilførslene. Prikket felt angir den delen det er mulig å gjøre noe med. Lyst felt angir den delen som er vanskelig/umulig å gjøre noe med.



Norsjø

Fosfortilførslene til Norsjø er vist i tabell 10.

Totalt mottar innsjøen ca. 85,5 tonn fosfor i året. Den totale belastning er således større enn til Heddalsvatn, men den fortynnes i et større vannvolum, slik at middelkonsentrasjonen i innløpet er 9,7 µg P/l sammenliknet med 12,0 µg P/l for Heddalsvatn. Det er de tre store elvene Sauerelva, Eidselva og Bøelva som dominerer tilførslene med henholdsvis

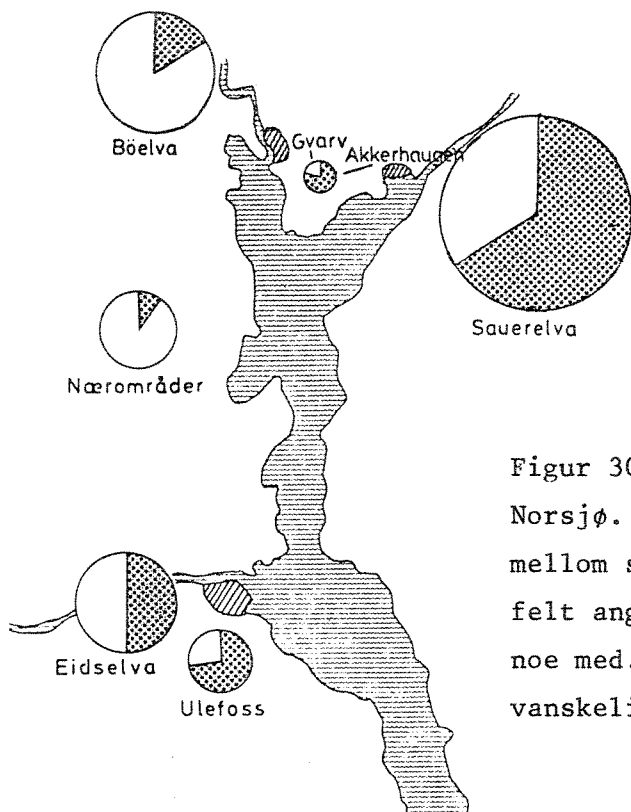
39, 23 og 15 tonn fosfor pr. år. Omtrent 40% av totaltilførselen kan henføres til kunstige kilder hvorav 18,6% er mulig å fjerne. En ikke uvesentlig del av fosforet som kan fjernes, stammer også her fra Notodden. En kloakksanering i dette området vil således også ha innvirkning på forholdene i Norsjø.

De atmosfæriske tilførslene utgjør 2,2% av totalbelastningen. Dette er en noe større andel enn for Heddalsvatn og har sammenheng med en noe mindre grad av vannfornyelse.

Tabell 10. Fosfortilførsler til Norsjø 1977-78. Tabellen angir antall kg total fosfor som tilføres fra de forskjellige kilder pr. år. I kolonnene til høyre er også vannbudsjett (D) og middelkonsentrasjonen i innløpene ført opp (E).

	A+B+C	A	B	C	D	E
	1977-78	Naturlig	Kunstig vanskelig å gjøre noe med	Kunstig mulig å fjerne ved rensing	H ₂ O 10 ⁶ m ³ /år	[- P]
Sauerelva	39 055	23 272	5718	10 065	4300	9,1
Eidselva	23 080	18 204	2442	2 434	3133	7,4
Bøelva	14 710	7 660	5860	1 190	1175	12,8
Næromr. Skog/fjell	213	213				
Næromr. jordbruk	3 969	384	3168	417	213	24,8
Nedbør	1 888	1 888				
Ulefoss/Gvarv/ Akkerhaugen	2 560		768	1 792		
Total tilførsel	85 475	51 621	17956	15 898	8821	9,7

De kunstige tilførslene er anskueliggjort i fig. 30. En stor del av den kunstig tilførte fosfor som det er mulig å redusere, kommer fra Sauerelva og delvis fra Ulefossområdet. Bøelva kommer med relativt mye fosfor, men dette er vanskelig å gjøre noe med da det vesentlig skriver seg fra jordbruksområdene. De kunstige tilførslene fra nærområdene er relativt små, og av samme grunner som i Bøelva, vanskelig å redusere.



Figur 30. Kunstig fosforbelastning til Norsjø. Sirklenes areal angir forholdet mellom størrelsen av tilførslene. Prikket felt angir den delen det er mulig å gjøre noe med. Lyst felt angir den delen det er vanskelig/umulig å gjøre noe med.

Tinnsjøen.

Måna	19563 kgP/år
Gøyst(rest etter reg.)	1186 kgP/år
Mår(rest etter reg.)	763 kgP/år
Austbygdåi	2238 kgP/år
Jordbruk(ca. 2 km ²)	183 kgP/år
Skogsområder	4808 kgP/år
Nedbør dir. på overflata	1739 kgP/år
<u>Tilførsler ialt</u>	<u>30479 kgP/år</u>

En ser at den betydeligste fosforkilden til Tinnsjøen er Måna. Av de 19,5 tonn fosfor som årlig tilføres innsjøen, har 9,4 tonn sin årsak i utslipp fra Rjukan. Den midlere innløpskonsentrasjonen er 9,2 µg P/l. Ved en fullstendig fjerning av utslipp vil den synke til 6,4 µg P/l.

Seljordsvatn.

Sundsbarmelva	4211 kgP/år
Skogsområder	1142 kgP/år
Jordbruk(ca. 1 km ²)	92 kgP/år
Renseanlegg	194 kgP/år
Nedbør dir. på overflata	440 kgP/år
<u>Tilførsler i alt</u>	<u>6079 kgP/år</u>

Dette gir en midlere fosforkonsentrasjon i innløpet på 7,4 µg P/l. Renseanlegget har en midlere renseeffekt på 81% (målinger foretatt annenhver dag i et halvt år). Det fremgår at de menneskelig induserte fosforkilder er av liten betydning for Seljordsvatn.

Sundkilen

Oversikt over Sundkilens fosforbelastning er gitt i tabell 11.

Tabell 11. Oversikt over fosfortilførsler til Sundkilen ved nåværende situasjon og ved en tenkt situasjon uten reguleringsinngrep i nedbørfeltet.

Kilder	Årlig tilførsler kgP/år	
	uten reg.	ved reg.
Dalaåi	1475	492
Skogsområder (81 km ²)	470	470
Jordbruk (1,6 km ²)	148	148
Nærområder: Direkte utslipp (70 pers)	70	70
Fra renseanlegg (biologisk 25% eff., 1350 p.e.)	1013	1013
Nedbør direkte på overflata	85	85
Tilførsler i alt	3261	2278

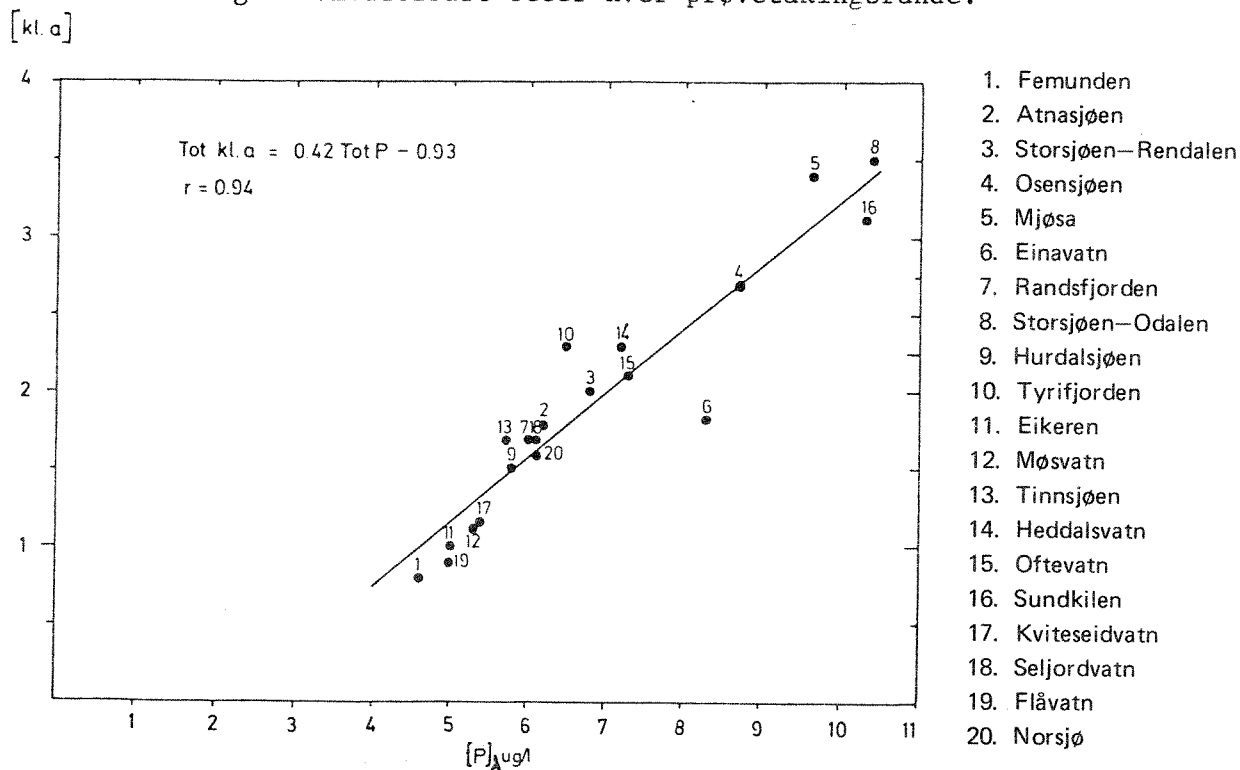
Reguleringen av Sundsbarm har ført til en drastisk reduksjon av vannfornyelsen i Sundkilen, en følge av at ca. halve nedbørfeltet er ført over til Sundsbarm (se tabell A9).

Dette har resultert i at den midlere fosforkonsentrasjonen i innløpet nå er 18,1 µg P/l, mens den ville ha vært 11,7 µg P/l uten regulering. Det er her benyttet en avrenningskoeffisient på 30 l/km² s for nedbørfeltet som er overført til Sundsbarm og 25 l/km² s for Sundkilens nåværende nedbørfelt.

De direkte menneskelige kildene utgjør en betydelig del av fosforbelastningen til Sundkilen. Uten regulering utgjør de 33% av totaltilførslen, mens de ved regulering utgjør hele 47%. Dette skyldes i første rekke økningen i vannets oppholdstid fra 0,13 til 0,28 år. Mer om dette under modelleringskapittelet.

9. FOSFORBELASTNINGSMODELL

Hensikten med en slik modell er å få en forståelse av noen av de økologiske endringer som vil skje i en innsjø ved endrede fosfortilførsler. Det er viktig når en studerer innsjøer å ikke bare betrakte vannmassene og strandlinjen, men også hele nedbørfeltet. Forandring av menneskelig aktivitet i nedbørfeltet fører nesten alltid til endring i fosfortilførslen til innsjøen. Bakgrunnen for utviklingen av fosformodellene er at det på bakgrunn av et stort observasjonsmateriale er slått fast at det eksisterer en relativt god sammenheng mellom konsentrasjon av fosfor og algemengde i de aller fleste innsjøer. Spesielt gjelder dette store, dype innsjøer hvor den dominerende del av omsetningen foregår i de frie vannmasser. Praktisk talt alle de store øst-norske innsjøene, inkludert de store Telemarkinnsjøene, faller inn under denne kategori. Sammenhengen mellom fosforkonsentrasjon og algemengde for en del av disse er vist i fig. 31. Analysene som danner bakgrunn for denne fremstilling ble samlet inn med fly i perioden mai 1978 - mai 1979. Prøvene ble innsamlet på 3-7 stasjoner i hver innsjø, og 6 ganger i perioden. All bearbeiding av prøvene foregikk umiddelbart etter hver prøvetakingsrunde.



Figur 31. Sammenhengen mellom årsmiddelkonsentrasjonen av fosfor i hele sjøen $[P]_{\lambda}$ og gjennomsnittlig algebiomasse $[kl.a]$ i epilimnion i sommerhalvåret.

Sammenhengen kan tilnærmes med den angitte linjen $TotKla = 0,42 TotP - 0,93$. $r = 0,94$. Det gjøres oppmerksom på at denne relasjonen gjelder bare for større innsjøer med middelkonsentrasjon av fosfor mellom 4 og 11 $\mu\text{g}/\text{l}$, men i dette området ligger de aller fleste norske innsjøer av denne type.

Neste skritt i modellen er å finne hvilke faktorer som er med på å opprettholde fosforkonsentrasjonen i innsjøen og å kvantifisere disse. En går ut fra at innsjøen befinner seg i en såkalt steady state-tilstand, dvs. at middelkonsentrasjonen av fosfor ikke øker eller minker signifikant over en viss tidsperiode (år). Tidligere arbeider (Vollenweider 1976) har vist at forhold som fosfortilførsel og innsjøens størrelse, dyp og grad av vannfornyelse er av avgjørende betydning. Av de mange modellene som i dag finnes i litteraturen, består forskjellen stort sett i den relative betydning av disse faktorer. Den mest kjente og anerkjente fosforbelastningsmodell er til nå Vollenweiders (1976) empiriske modell som også er den som stemmer best overens med våre vannkvalitetskriterier. Vi har derfor valgt å ta utgangspunkt i denne modellen og forsøkt å justere den etter relasjoner mellom algemengde og fosfortilførsler som ble observert i de undersøkte innsjøer.

Forutsetningen for denne modellen er at det alt overveiende av fosfortilførslerne kommer fra nedbørfeltet (inkludert nedbør direkte på overflaten), dvs. at eventuell frigivelse av fosfor fra sedimentet er ubetydelig. Det er således en nettotransport av fosfor til sedimentene over året. Dette gjelder stort sett for alle sjiktede innsjøer som ikke er forurenset i den grad at de har et markert oksygensvinn i hypolimnion eller ekstremt høye pH-verdier i epilimnion som følge av høy primærproduksjon. Alle innsjøene ved denne undersøkelsen tilfredsstiller dette kravet.

Ut fra belastningsberegninger for de innsjøene som er ført opp i fig. 31, viste det seg av Vollenweiders modell forutsa større algemengder enn det som ble observert. Det virket som om middelkonsentrasjonen av fosfor i innløpet ble overestimert. Ut fra denne mistanke ble Vollenweiders resonnement i modellen etterprøvd på 5 norske innsjøer med empirisk målte fosforbudsjetter. (Heddalsvatn, Norsjø, Mjøsa, Tyrifjorden og Eikeren.) For å forstå hva som ble etterprøvet skal det her gis en kort klargjøring.

Av fosforet som tilføres en innsjø vil en del synke til bunns, enten direkte ved at det er knyttet til partikler, eller indirekte ved at det først tas opp av alger som siden dør og sedimenterer. Størrelsen på denne sedimentasjon i forhold til det som kommer inn, er i første rekke avhengig av innsjøens grad av vannfornyelse. Sedimentasjonens størrelse er av avgjørende betydning for den fosforkonsentrasjon en finner i innsjøen. Det viser seg imidlertid at det i praksis er vanskelig å foreta slike sedimentasjonsmålinger, og Vollenweider benytter seg derfor av følgende resonnement.

På samme måte som for oppholdstiden av vann, $T_w = V/Q$, der V = innsjøens volum og Q = årlig vanntilførsel, defineres oppholdstiden av fosfor.

$T_p = P/L_p$ der P = total mengde fosfor i innsjøen og L_p = årlig tilført fosformengde. Nå er $P = [P]_\lambda \cdot V$ der $[P]_\lambda$ = middelkonsentrasjon av fosfor i innsjøen. Og $L_p = [P]_i \cdot Q$ der $[P]_i$ = middelkonsentrasjon av fosfor i innløp.

Det følger da at

$$\frac{T_p}{T_w} = \frac{\frac{P}{L_p}}{\frac{V}{Q}} = \frac{\frac{[P]_\lambda \cdot V}{[P]_i \cdot Q}}{\frac{V}{Q}} = \frac{[P]_\lambda}{[P]_i} \quad (1)$$

Vollenweider fremstiller T_p/T_w som funksjon av T_w for en rekke innsjøer. Da forholdet teoretisk ikke kan bli større enn en, tilnærmer han regresjonen med funksjonen

$$\frac{T_p}{T_w} = \frac{1}{1 + \sqrt{T_w}} \quad (2)$$

Til denne er å bemerke at tilnærmingen baserer seg på et meget dårlig datagrunnlag hvor kun et par observasjoner er med på å styre linjen (se Vollenweider 1976). Relasjonen er illustrert i fig. 32 sammen med våre tidligere nevnte innsjøer. En ser at våre observasjoner ikke stemmer helt overens med Vollenweiders linje. Det viste seg imidlertid at hvis våre observasjoner ble plottet i et semilogaritmisk diagram, ble de liggende tilnærmet på en rett linje (fig. 33). Det matematiske uttrykket for denne linjen er:

$$\log \frac{T_p}{T_w} = - 0,029 T_w - 0,20 \quad r = - 0,98 \quad (3)$$

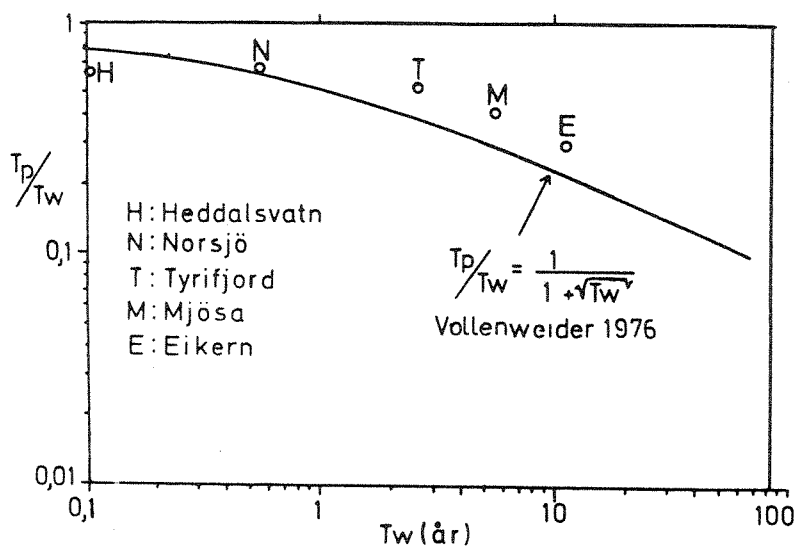


Fig. 32. Forholdet mellom oppholdstiden av fosfor (T_p) og oppholdstiden av vann (T_w) som funksjon av oppholdstiden for vann. Den opptrukne linje er fra Vollenweider 1976. Dobbellogaritmisk fremstilling.

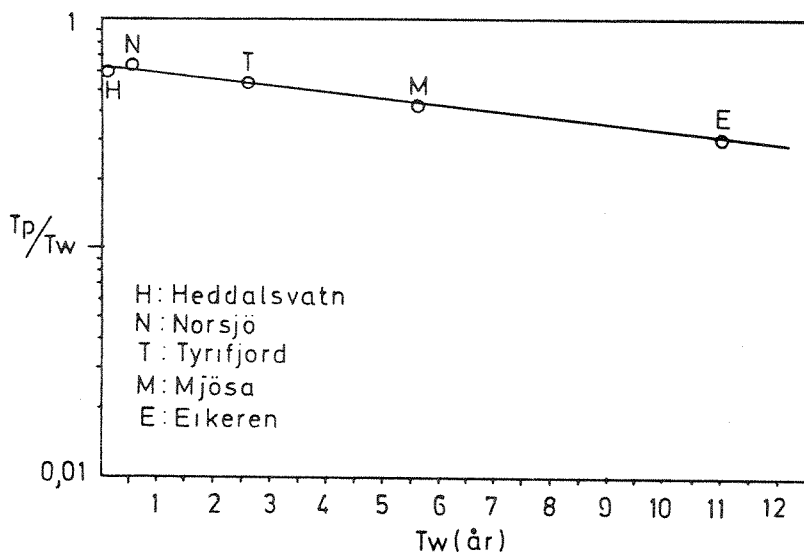


Fig. 33. Forholdet mellom oppholdstiden av fosfor (T_p) og oppholdstiden av vann (T_w) som funksjon av oppholdstiden for vann, enkellogaritmisk fremstilling.

$$\log \frac{T_p}{T_w} = -0,029 T_w - 0,20 \quad r = -0,98$$

Det må imidlertid bemerkes at dette gjelder kun sjiktede innsjøer med oppholdstid mellom 0,1 år (Heddalsvatn) og 11 år (Eikeren). Når T_w går mot 0 kommer en over på usjiktede sjøer og da holder ikke forutsetningene for denne modellen.

$$\text{Kombineres (1) og (3) } \log \frac{T_p}{T_w} = \log \frac{[P]_\lambda}{[P]_i} = -0,029 \cdot T_w - 0,2 \quad (4)$$

blir en beregning av middelkonsentrasjon i innløp mer i overensstemmelse med de teoretiske beregninger for innsjøene som er vist i fig. 31.

En av årsakene til dette kan være at Vollenweiders data og våre data skriver seg fra kvalitativt forskjellige innsjøer. En stor del av Vollenweiders innsjøer er mellom-europeiske og nordamerikanske, og det kan være faktorer der som bevirker en raskere fosfosedimentasjon. Det kan blant annet nevnes at hans sjøer gjennomgående har mer kalkrike nedbørfelt, slik at felling av fosfor tilknyttet CaCO_3 kan tenkes.

Kombineres ligningen for relasjonen mellom algemengde og fosforkonsentrasjon i fig. 31

$$[\text{kl.a}] = 0,42 \cdot [P]_\lambda - 0,93 \quad (5)$$

med

$$(4) \log \frac{[P]_\lambda}{[P]_i} = -0,029 \cdot T_w - 0,2$$

fås den fullstendige modell, dvs. en kan ved bruk av disse to ligninger finne ut hva endringer av $[P]_i$ og T_w vil ha å si for fosforkonsentrasjonen og algekonsentrasjonen i innsjøene.

Ut fra en helhetlig vurdering av situasjonen i de undersøkte innsjøer (referert i fig. 31), synes det naturlig å fastsette en algemengde tilsvarende 2 $\mu\text{g kl a/l}$ som øvre grense for akseptabel tilstand, mens algemengder over 3,5 $\mu\text{g kl a/l}$ regnes som kritisk. Ut fra sammenhengen

mellom klorofyll - og fosforkonsentrasjonene (fig. 31) og sammenhengen mellom klorofyll og siktedyp gitt i fig. 34 kan følgende tabell settes opp:

Tabell 12. Grenser for henholdvis akseptabel, betenkelig og kritisk tilstand i store sjiktede innsjøer.

$[P]_{\lambda}$ = middelkonsentrasjonen i sjøen målt på årsbasis, klorofyll a - middelkonsentrasjonen i vekstsesongen, siktedyp = middelverdien i vekstsesongen.

Parameter Tilstand	$[P]_{\lambda}$ ($\mu\text{g}/\text{l}$)	$[\text{kl.a}]$ ($\mu\text{g}/\text{l}$)	siktedyp (m)
Akseptabel	7	2	7
Betenkelig	7-10.5	2-3.5	4-7
Kritisk	10.5	3.5	4

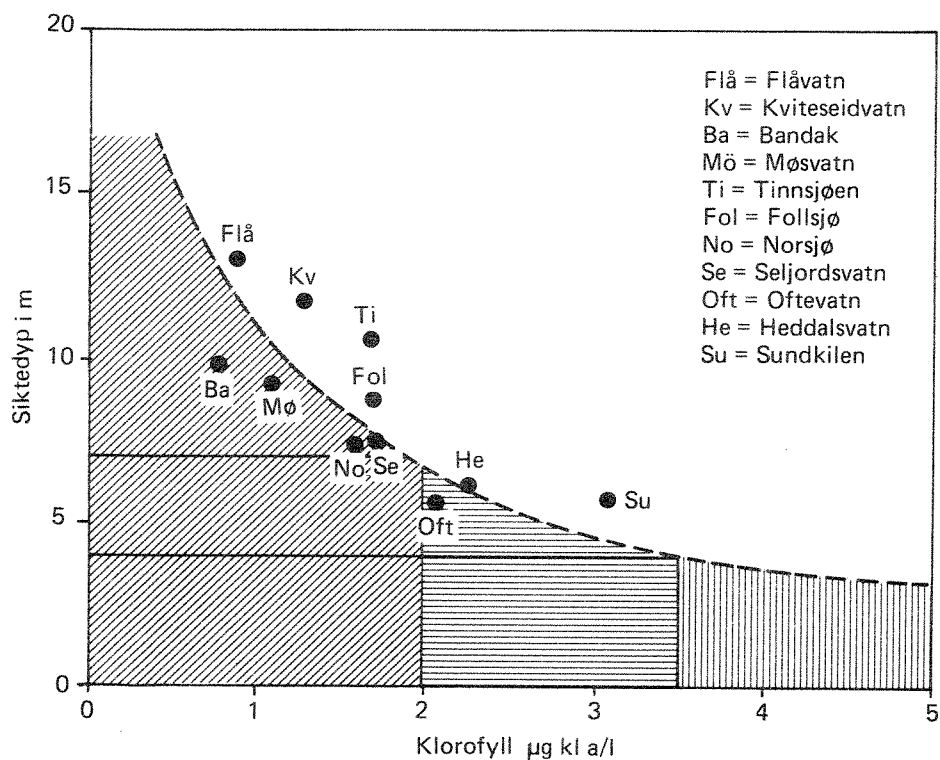


Fig. 34. Sammenhengen mellom algemengde (kl a) og siktedyp i humusfattige innsjøer. Grenser for akseptabel og kritisk tilstand (h.h.v. 2 og 3,5 $\mu\text{g kl a}/\text{l}$) er tegnet inn. Ellers er figuren identisk med figur 8.

De oppførte verdiene er for fosfor årsmiddel for hele sjøen, for klorofyll middelværdi fra epilimnion i vekstsesongen og for siktedyp middelværdi i vekstsesongen. En innsjø må derfor minst undersøkes gjennom et helt år for å kunne plasseres i systemet. Ut fra dette går det fram at både Sundkilen og Heddalsvatn ligger i det betenkelige området. Norsjø ligger i det akseptable området, men nær grensen for det betenkelige.

Regneeksempler

Ved hjelp av denne modellen kan en få en forståelse av hvilke fosforkonstrasjoner, algemengder og siktedyp en vil få i innsjøene om fosfortilførselene endres, f.eks. ved rensetiltak. Det blir her presentert noen få regneeksempler. Det minnes om definisjonene:

- $[P]_i$ = middelkonsentrasjon av total fosfor i innløp
 $[P]_\lambda$ = Middelkonsentrasjon av total fosfor i innsjøen
 T_w = teoretisk fornyelse i år
Hydrologiske data i tabell A9.

Eks. 1. Hvordan blir situasjonen i Heddalsvatn hvis alt tot P som er mulig å fjerne, tas bort ved rensetiltak?

Totalbelastning i dag	50620 kg P/år
- Maksimal avlastning	14058 kg P/år
<hr/>	
= Gjenværende belastning	36562 kg P/år

Ved å dele på årlig avløp $Q = 4237 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{år}$ (fra tabell A9) gir dette $[P]_i = 12,0 \text{ } \mu\text{g P/l}$ før og $8,7 \text{ } \mu\text{g P/l}$ etter avlastning.

Etter (4) gir dette $[P]_\lambda = 5,5 \text{ } \mu\text{g P/l}$.

Etter (5) og figur 34 gir dette en algemengde tilsvarende ca. $1,4 \text{ } \mu\text{g kla/l}$ og et siktedyp på ca. $8,5 \text{ m}$. Altså en fullt ut akseptabel situasjon.

Eks. 2. Hvordan blir situasjonen i Heddalsvatn hvis en tar bort halvparten av fosforet som teoretisk lar seg fjerne?

Gjenværende belastning (50620 - 7029) kg P/år = 43591 kg. Dette tilsvarer $[P]_i = 10,3 \mu\text{g P/l}$.

$$[P]_\lambda = 6,5 \mu\text{g P/l}$$

Tilsvarende $1,8 \mu\text{g kla/l}$ og $7,5 \text{ m}$ siktedyp, dvs. på grensen mellom en betenkelig og akseptabel tilstand.

Eks. 3. Hvordan blir situasjonen i Norsjø hvis alt fosfor som er mulig å fjerne tas bort?

Belastning i dag	85475 kg P/år
- Maksimal avlastning	15898 kg P/år
<hr/>	
Gjenværende belastning	69577 kg P/år

Dette tilsvarer $[P]_i = 7,9 \mu\text{g P/l}$ og

$[P]_\lambda = 4,8 \mu\text{g P/l}$ tilsvarende $1,1 \mu\text{g kla/l}$ og $10,5 \text{ m}$ siktedyp, en fullt ut akseptabel tilstand.

Norsjø befinner seg i dag i grenseområdet mellom akseptabel og betenkelig tilstand, men rensetiltak i Notodden, Ulefoss/Gvarv vil bringe den godt ut av faresonen.

Eks. 4. Hvilke konsekvenser har Sundsbarmreguleringen hatt for forurensningssituasjonen i Sundkilen? NIVA (1978b) refererer at det har vært en økning av såvel planktoniske som fastsittende alger.

Kraftutbyggingen har medført en drastisk reduksjon av gjennomstrømmingen ved at halvparten av det opprinnelige nedbørfeltet er ført over til Sundsbarm. (Se tabell A9.) Dette fører til en oppkonsentrasjon av fosfor i innløpsvannet og $[P]_i$ er i dag $18 \mu\text{g P/l}$. Uten regulering ville $[P]_i$ vært $11,7 \mu\text{g P/l}$ og $[P]_\lambda = 7,2 \mu\text{g P/l}$, tilsvarende $2,1 \mu\text{g kla/l}$ og ca. $6,5 \text{ m}$ siktedyp. Med andre ord innsjøen ville ha ligget i grenseområdet mellom akseptabel og betenkelig situasjon. I dag befinner den seg svært nær grensen for kritisk tilstand (se fig. 31 og 34).

Et effektivt renseanlegg i Kviteseid er derfor påkrevet for å bedre situasjonen i Sundkilen slik at den kommer opp på akseptabelt nivå.

De andre undersøkte innsjøene i Telemarkvassdraget har en akseptabel vannkvalitet med hensyn til algevekst. Ut fra de før nevnte ligninger kan en ved slike beregninger og overslag få en forståelse av hva disse innsjøene vil kunne tåle av økende belastning før de kommer over i en betenkelig situasjon.

Kommentarer til modellene

Modellen er satt opp på grunnlag av data fra store sjiktede innsjøer på Østlandet. Spesielle sjøer som f.eks. humussjøer, bresjøer eller grunne usjiktede sjøer kan derfor ikke vurderes ut fra denne modellen. Modellen gir kun en oppfatning av algeomengde (og siktedyp som følge av denne) samt fosforkonsentrasjon i en innsjø ved en gitt fosforbelastning. Selv om en innsjø i følge modellen ligger i det akseptable området kan det likevel være påkrevet med rensing av avløp når en tar utviklingsperspektiver og hygieniske aspekter med i vurderingen.

Prinsipielt bør en bestrebe seg på å redusere utslipp så langt at stoffomsetningen i innsjøen ikke bringes ut av balanse. F.eks. kan en akkumulering av næringssalter i sedimentene medføre at det med tiden kan oppstå situasjoner da disse kan frigis og dermed forårsake økt algeproduksjon og dermed en forringelse av vannets brukbarhet i praktisk sammenheng.

Det bør også nevnes at en vil kunne finne lokale utslipp langs innsjøene som er av en slik karakter at de skaper uakseptable forhold lokalt. Angående slike problemer henvises det til utslippsregistrering foretatt av Plan- og utbyggingsavdelingen ved Telemarks fylkeskommune ved T. Lohne.

10. KONKLUDERENDE SAMMENDRAG

Generelt kan det sies om vannkvaliteten i vassdraget at såvel elver som innsjøer har ionefattig (bløtt) vann med svak sur reaksjon. Vannet er kalkfattig og har som følge av dette liten mulighet til å dempe pH-variasjoner (buffre) ved tilførsel av syre eller base.

Faktorene som skaper de største problemer for vassdraget kan summarisk oppstilles som følger:

1. Kloakkutslipp og jordbruksavrenning.

Dette resulterer i at vassdraget mottar økte tilførsler av plantenæringsstoffer (spesielt fosfor) hvilket medfører økt algevekst. Ved store utslipp resulterer dette i en ugunstig endring av økosystemets likevekt. Hvis kraftig forurensing av denne art har pågått i lengre tid, kan det by på store problemer å bringe vassdraget tilbake til den ønskede tilstand. Dette gjelder i første rekke innsjøer som ofte er det svakeste ledd i et vassdrag.

Eutrofieringsproblemene, som dette kalles, gjør seg særlig gjeldende i Heddalsvatn, Sundkilen og Norsjø.

Kloakkutslipp og avrenning fra husdyrgjødsel skaper dessuten bakteriologiske problemer. Dette må, siden det er store drikkevannsinteresser i vassdraget, ansees som et alvorlig problem.

Den bakteriologiske siden ved undersøkelsen er i hovedsak utført av de lokale helsemyndigheter og resultatene viser at den hygieniske situasjonen i vassdraget generelt sett er betenkelig.

2. Industriutslipp

Av denne kategori er det i første rekke nitrogenutslippene fra Hydro på Rjukan som setter sitt preg på vannkvaliteten i resipienten. Effekter av andre industriutslipp er først og fremst registrert i Heddalsvatn, se NIVA 1978.

3. Reguleringsinngrep

Redusert vannføring resulterer i at forurensninger fra utslipp blir mer konsentrert. Dette er tilfellet med flere avsnitt i vassdraget.

Avrenningsundersøkelsen som ble foretatt i Bøområdet gav en midlere avrenning fra jordbruksareal på 74 mg P/m^2 år og fra områder bestående av skog/myr/fjell på $5,8 \text{ mg P/m}^2$ år.

Nedbørundersøkelsene viste at det midlere bidraget av fosfor fra atmosfæren var på $34,1 \text{ mg P/m}^2$ år.

Det er på grunnlag av undersøkelser fra 20 store norske innsjøer foretatt en modifisering av Vollenweiders fosforbelastningsmodell fra 1976. Denne, sett i sammenheng med oppsatte grenser for akseptabel, betenkelig og kritisk tilstand i innsjøene samt de biologiske forhold i innsjøene, gir en pekepinn på hvilken fosforbelastning som kan tillates på den enkelte sjø.

For Heddalsvatn, Norsjø, Seljordsvatn, Tinnsjøen og Sundkilen er de forskjellige fosfortilførslene kvantifisert. Ut fra modellen kan en da regne ut hvilke resultater eventuelle rensetiltak/nye utslipp/endringer i gjennomstrømming vil bety for innsjøene. Selv om klima, vannføring m.m. som har stor innvirkning på produksjonsforholdene i en innsjø kan variere fra år til år, vil hovedtrekkene i innsjøenes tilstand og utvikling være i tråd med konklusjonene nedenfor.

Tilstanden i vassdragets innsjøer

Heddalsvatn befinner seg i det betenkelige området. Minst halvparten av kloakkutslippene i Notodden-Yli-Strupa området må fjernes for at en akseptabel tilstand skal oppnås.

Det er også klart at en reduksjon av vannføringen i Tinnelva i sommermånedene vil bety økt algeproduksjon, selv om vannføringen på årsbasis er konstant. Effekten av slike temporære vannføringsendringer lar det seg dessverre ikke kvantifisere av denne modellen.

Norsjø befinner seg på grensen mellom akseptabel og betenkelig tilstand. En kloakksanering i Notodden, Gvarv og Ulefoss vil bringe denne sjøen klart ut av dette grenseområdet.

Tilstanden i Sundkilen er nær den kritiske grensen. Reduksjonen av nedslagsfeltet i forbindelse med Sundsbarmreguleringen har tydelig ført til en forverring av situasjonen. Med sitt opprinnelige nedslagsfelt inntakt ville Sundkilen ha ligget på grensen mellom akseptabel og betenkelig tilstand.

De øvrige sjøene i Telemarkvassdraget har etter denne betraktningen en akseptabel tilstand med hensyn til algevekst.

I Tinnsjøen skjer det en forsurening av vannet som følge av oksydasjonen av ammonium sluppet ut fra Hydro på Rjukan. Vannet får også som følge av dette et unormalt høyt nitrogeninnhold som gjør seg gjeldende langt nedover i vassdraget.

I løpet av de fire årene undersøkelsene har pågått har situasjonen vært relativt konstant fra år til år i de enkelte innsjøer. Noen signifikante endringer som tilsier at situasjonen er i ferd med å bli verre eller bedre er således ikke registrert. Dertil har undersøkelsesperioden vært for kort. Et mer langsiktig overvåkingsprogram vil imidlertid kunne gi svar på dette spørsmålet.

Tilstanden i vassdragets elver

Av de undersøkte elvene var det bare Måna ved Miland Camping, Tokke-elva nedstrøms Åmot og Tinnelva i Notodden hvor biologiske undersøkelser viste stor grad av menneskelig påvirkning. I de to første er det lite vannføring, som følge av regulering, slik at utslippene fortynnes i liten grad.

I de øvrige undersøkte elvene så økosystemet ut til å være i noenlunde likevekt vurdert ut fra bunndyr og begroing. Svak påvirkning av menneskelig aktivitet kunne imidlertid spores enkelte steder (i Morgedalsåi, Bø-elva og Heddøla).

LITTERATURREFERANSER

- Ahl, T., och Odén, S. 1975. Närsaltkällor - en översikt. - I: Eriksson, V. (ed.); Eutrofiering. - NORDFORSK Miljövårdsekretariat. Publikation 1975: 1: 99 - 133.
- Ahl, T., 1973. Mälarens belastning och vattenkvalitet. Scripta Limnologica Upsaliensia 332.
- Bargh, B. J., 1977. Output of water, suspended sediment and phosphorus and nitrogen forms from a small forested catchment. New Zealand Journal of Forestry science 7 (2): 162 - 171.
- Berge, D., 1978. Sedimentationsmålinger i Heddalsvatn og Norsjø (to store norske innsjøer) sommeren 1977. Side 21-30 i Utveksling mellom sediment og vann 6. nordiske sedimentsymposium, Hurdal 9-12/3-1978. Norge. ISBN-82-990528-0-7. 150 sider.
- Berglund, S., Hällgren, J. & Thorell, L., 1977. Diffusa föroreningar i Sverige - en översikt. - Trettonde nordiska symposiet om vattenforskning - Nordforsk (Stencil).
- Brakke, D.F. 1977. Rainwater: Nutrient additions to a hypereutrophic lake. Hydrobiologia vol 52. 2-3, pp. 159 - 163, 1977.
- Brink, N. 1975. Water pollution from agriculture. Journal WPCF, Vol. 47, no 4, April 1975, pp. 789-795.
- Brink, W., Gustafson, A. 1970. Kväve och fosfor från skog, åker och bebyggelse. Lantbrukshögskolan, inst. för markvetenskap, vattenvård Nr. 1, Uppsala 1970, 108 pp.
- Cambell, F.R., and L.R. Weber. 1969. Agriculture's contribution to the fertilization of Canal Lake. J. Soil Water Conserv. 24: 139-141.
- Dillon, P.J. and Kirchner, W.B. 1974. The effects of geology and land use on the export of phosphorus from watersheds. Water Research Vol. 9, pp. 135-148.
- Dillon, P.J. and F.H. Rigler. 1975. A Simple Method for Predicting the Capacity of a Lake for Development Based on Lake Trophic Status. J. Fish. Res. Bd. Can., Vol. 32 (9) pp. 1519-1531.
- Dillon, P.J., 1975 The phosphorus budget of Cameron Lake, Ontario: The importance of flushing rate to the degree of eutrophy of lakes. Limnol, Oceanogr. Vol. 20 (1), January 1975. pp. 28-39.
- Duffy, P.D., Schreiber, J.D., Mc Clurkin, D.C., and L.L. McDowell. 1978. Aqueous - and Sediment phase Phosphorus Yields from Five Southern Pine Watersheds. Journal of Environmental Quality, Vol. 7, no. 1. 1978. Madison USA. pp. 45-50.
- Elster, H.J. 1958. Das limnologische Seentypensystem, Rückblick und Ausblick. Verh. int. Verein. theor. angew. Limnol. 13, pp. 101-120.
- Englebrecht, R.S., and J.J. Morgan. 1961. Land drainage as a source of phosphorus in Illinois surface waters. In Seminar on algae and Metropolitan Wastes, U.S. Public Health Service, Taft Engin. Senter, Cincinnati. pp. 74-79.

- Evdokimova, T.J., Grishina, L.A., Vasilyevskaya, V.D., Samvilova, E.M. and Bystriskaya, T.L. 1976. - Biogeochemical cycles of elements in some natural zones of European USSR. - I: Svensson, B.H. and Söderlund, R. (eds.); Nitrogen, phosphorus and sulphur-global cycles, - SCOPE Report 7. Ecol. Bull 22: 135 - 155. Stockholm.
- Forsberg, C. & Ryding, S.O. 1977. Kväve, fosfor och organisk materiale i rinnande vatten. Koncentration och transport inom sex avrinningsområden. Naturvårdsverkets RR-undersökning, stencil 26 pp.
- Gardner, W.S. 1971. Tributary nutrient sources. Unpublished manuscript. Water Chemistry, Univ. Wisconsin - Madison. USA.
- Gargas, E., C.S. Nielsen and J. Lønholdt, 1976. An incubator method for estimating the actual daily plankton algae primary production. Water Res. 10: 10.
- Goltermann, H.L. 1975. Physiological limnology. Elsevier Scientific Publishing Company. Amsterdam-Oxford-New York. 489 sider.
- Gächter, R. 1972. Die Bestimmung der Tagesraten der planktischen Primärproduktion - Modelle und in-situ-Messungen. Schweiz. Z. Hydrol. 34., pp. 211-244.
- Gächter, R., Furrer, O.J. 1972. Der Beitrag der Landwirtschaft zur Eutrophierung der Gewässer in Schweiz. Schweiz. Z. Hydrol. 34, pp. 41-70.
- Happala, K. 1977. Luftburen föroreningstilførsel. - Vattenstyrelsens observationer 1971 - 1976. - Trettonde nordiska symposiet om vattenforskning - NORDFORSK (stencil).
- Harremoes, P. 1977. Betydningen af forurening fra regnafstrømning for valg af urbane afløbssystemer - en oversigt over nordisk litteratur og vurdering af status. Trettonde nordiska symposiet om vattenforskning. - NORDFORSK (Stencil).
- Harrow, G.L. 1966. Major sources of nutrient for algal growth in western Lake Erie. Univ. Michigan, Gt. Lakes Res. Div. Pub. 15, pp. 389-394.
- Jaag, O. 1972. The main sources of eutrophication of inland waters with special reference to the comparative magnitude of pollution sources. FAO, Soils Bull. 16. pp. 235-287.
- Jansson, M. 1977. Vattenbalans och kemiska budgetberäkningar för Stugsjön 1971 - 1975. - Koukkelprosjektets rapport Nr. 5: 3-46. Limnologiska institusjonen i Uppsala. 1977.
- Jaworski, N.A., and L.J. Hetling. 1970. Relative contributions of nutrients to the Potomac River basin from various sources. Tech. Report 31 FWPCA, Middle Atlantic Reg. 36 pp.
- Larsen, V., 1977. Oversigt over diffus stofftilførsel til vannløp fra Landbruget. Foredrag ved det Trettonde nordiska symposiet om vattenforskning. 1977 pp. 165-181.

- Likens, G.E. and Bormann, H.F. 1974. Linkages between Terrestrial and Aquatic Ecosystems. *Bioscience* Vol. 24 No 8. 1974. pp. 147-456.
- Lønholdt, J. 1973. Landbrugets bidrag til N og P belastningen af vore resipienter, Stads- og havneingeniøren. 9.
- Mackenthun, K.M., and W.M. Ingram. 1967. Biological Associated in Fresh Water Environments. U.S.Dept. Interior, Fed. Water Pollution Control Assoc. 287 pp.
- Murphy, T.J., and P.V. Doskey. 1976. Input of phosphorus from precipitation to Lake Michigan. *J. Great Lakes Res.* 2 (1), pp. 60-70.
- Mussari, J., 1977. Belastning från jordbruket och möjligheterna att minska den. - Trettonde nordiska symposiet om vattenforskning. - Nordforsk (Stencil).
- NIVA 1976. Telemarksvassdraget. Fremdriftsrapport nr. 1. Undersøkelser i 1975/76. 0-112/70.
- NIVA 1977. Mjøsprosjektet. Fremdriftsrapport nr. 7. Undersøkelser i 1976. Norsk institutt for vannforskning. 0-91/69. 44 sider.
- NIVA 1978a. Telemarksvassdraget. Fremdriftsrapport nr. 3. Undersøkelser i 1977. Norsk institutt for vannforskning. 0-112/70. 26 sider.
- NIVA 1978b. Vassdragsundersøkelser i forbindelse med Sundsbarmreguleringen 5: Innvirkning av reguleringen 1970-71 på vassdragsforhold. 0-127/65. Norsk institutt for vannforskning, 135 sider.
- NIVA 1978c. Kjemiske undersøkelser i Heddalsvatn, Heddøla og Tinnelva for Tinfos Jernverk A/S. 0-97/75. Norsk institutt for vannforskning. 21 s.
- Owen, G.E. and M.G. Johnson. 1966. Significance of some factors affecting yields of phosphorus from several Lake Ontario watersheds. *Gt. Lakes Research. Div., Univ. Michigan, Pub. 15*, pp. 400-410.
- Owens, M. 1970. Nutrient balances in rivers. *J. Soc. Water Treat. and Exam.* 13 (3): 239-252.
- Rodhe, W. 1949. The ionic composition of lake waters. *Verh. int. Verein. theor. angew. Limnol.* 10, pp. 377-386.
- Rodhe, W. 1969. Crystallisation of the Eutrophication Concept in Northern Europe. Side 50-64 i *Eutrophication.*, Nat. Acad. Sci., Wash. D.C., 661 pp.
- Rognerud, S., 1975. Hydrografi, fytoplankton og primærproduksjon i Holsfjorden 1972-1973, samt en sammenlikning med Krøderen, Sperillen og Randsfjorden. Hovedfagsoppgave i limnologi ved Universitetet, Oslo.
- Sawyer, C.N. 1947. Fertilization of lakes by agricultural and urban drainage. *New England Water Works Assoc. J.* 61: pp. 109-127.
- Schindler, D.W., Newbury, R.W., Beaty, K.G. & Campbell, P. 1976. Natural water and chemical budgets for a small precambrian lake basin in central Canada. - *J. Fish. Res. Bd. Can.* 33: 2526-2543.

- Schindler, D.W., and J.E. Nighswander. 1970. Nutrient supply and primary production in Clear Lake, eastern Ontario. J. Fish. Res. Bd. Canada. 27: pp. 2009-2036.
- Sonzogni, W.C., and Lee, G.F. 1974. "Nutrient Sources for Lake Mendota - 1972". Trans. Wis. Acad. Sci., Arts, Lett. 62, pp. 133-164.
- Sonzogni, W.C., G.P. Fitzgerald, and G. Fred Lee. 1975. Effects of wastewater diversion on the lower Madison lakes. Journal Water Poll. Contr. Vol. 47, no. 3, pp. 535-542.
- St. meld. 71. 72/73 - Stortingsmelding 71, 1972-73, Langtidsprogrammet 1974-1977. Spesialanalyse 1. Forurensninger.
- TDH 1977. Situasjonsbeskrivelse og program for videre undersøkelser av Telemarkvassdraget. Telemark distriktshøgskole, Skrifeter nr. 18. 19 sider.
- TDH 1978. Telemarksvassdraget. Resultater fra undersøkelsene i 1977. Telemark distriktshøgskole, Skrifter nr. 30, 24 sider.
- Timmons, D.R., R.E. Burwell, and R.F. Holt. 1968. Loss of crop nutrients through runoff. Minn. Science 24 (4): 16-18.
- Uhlen, G. 1978. Avrenning i feltlysimetre ved NLH. PRA prosjekt 3.3., Institutt for jordkultur, Norges landbrukshøgskole, 1432 Ås. 20 pp.
- Vollenweider, R.A. 1968. Scientific fundamentals of the eutrophication of lakes and flowing waters, with particular reference to nitrogen and phosphorus as factors in eutrofication. OECD., Paris, Tech. Rep. DAS/CSI/68. 27, 182 pp.
- Vollenweider, R.A. 1969. A Manual on Methods for Measuring Primary Primary Production i Aquatic Environments. JBP Handbook No. 12., Blackwell, Oxford - Edinburgh. 213 sider.
- Vollenweider, R.A. 1976. Advances in defining critical loading levels for phosphorus in lake eutrophication. Mem. Ist. Ital. Idrobiol. 33: 53-83.
- Wanielista, M.P., Yousef, Y.A., McLennon, W.M., 1977. Nonpoint source effects on Water quality. Journal WPCF, PP. 441-451.
- Wetzel, R.G. 1975. Limnology. - W.B. Saunders Company. Philadelphia, London, Toronto. 743 pp.
- Witzel, S.A., N. Minshall, M.S. Nichols and J. Wilke. 1969. Surface runoff and nutrient of Fennimore watersheds. Trans. A.S.A.E. 1969. 338 - 341.
- Zitter, Y.B. 1969. Quantifying amounts of nutrients from an agricultural watershed. M.S. Thesis, Agr. Engin. Univ. Wisconsin - Madison.

APENDIKS - TABELLER A1 - A9

Tabell A1.

En del analyseresultater (middelverdier) fra de undersøkte innsjøer. (resultater fra 1975 og 1976).

INNSJØ	pH	KOND (uS/cm)	TOT-P (µgP/l)	TOT-N (µgN/l)	NO ₃ ⁻ (µg ³ /l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	Ca ⁺⁺ (mg/l)	Mg ⁺⁺ (mg/l)	Na ⁺ (mg/l)	K ⁺ (mg/l)	Alk meq/l	KOF (mg/l)	SiO ₂ (mg/l)	FARGE (mgPt/l)	Sum anioner (meq/l)	Sum kationer (meq/l)
MØSVATN	6.6	14	5	200	50	2.1	0.7	4.2	1.6	0.16	0.7	0.3	0.07	6.4	1.3	25	0.137	0.131
MÄRVATN	6.5	11	4	230	50	1.6							0.06		1.7			
TINNSJØEN	6.0	17	5	900	750	2.3	0.7		1.8	0.2	0.8	0.3	0.03	3.4	1.7	11	0.155	0.157
FOLLSJØ	6.2	17	4	320	130	3.3	1.0		1.7	0.3	0.8	0.3	0.04	9.1	2.1	20	0.145	0.153
HEDDALSVATN	6.4	19	10	830	650	2.9	1.0		2.05	0.3	0.9	0.5	0.05	6.0	1.0	20	0.181	0.180
SELJORDSVATN	6.7	21	6	330	140	3.3	1.1		2.7	0.4	1.0	0.3	0.10	6.0	1.9	30	0.209	0.219
SONGAVATN	6.1	11	3	150	50	1.7							0.04		1.0			
TOTAK	6.6	13	3	200	90	2.2							0.06		1.7			
BANDAK	6.6	15.5	5	300	90	2.2	0.9		1.8	0.2	0.8	0.2	0.07	2.5	1.5	15	0.146	0.147
KVITSEIDVATN	6.6	16.0	5	250	95	2.5	1.1		1.8	0.2	0.9	0.3	0.07	2.5	1.4	15	0.160	0.154
FLÄVATN	6.6	16	5	260	100	2.4	0.9		1.8	0.25	0.9	0.22	0.07	2.5	1.4	14	0.151	0.156
NORSJØ	6.5	18	6	500	410	2.8	1.1		2.0	0.31	0.9	0.5	0.06	5.0	2.3	15	0.180	0.178

Tabell A2.

Den prosentvise ionesammensetning (meq %) for de undersøkte innsjøer.

	KATIONER					ANIONER			
	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺⁺	NH ₄ ⁺	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃
BANDAK	61.2	11.6	23.8	3.4	0	30.8	17.1	47.9	4.1
KVITSEIDVATN	58.4	11.0	25.3	5.2		32.5	19.1	43.8	4.4
FLÄVATN	57.7	13.5	25.0	3.8		32.5	16.6	46.4	4.6
NORDSJØ	56.2	14.6	21.9	7.3		32.2	17.2	34.4	16.1
HEDDALSVATN	57.2	13.9	21.7	7.2		33.1	15.5	25.9	25.4
TINNSJØEN	57.3	10.8	22.3	5.1	4.5	30.5	13.0	21.4	35.1
MØSVATN	61.1	9.9	22.9	6.1		32.1	14.6	51.1	2.2
FOLLSJØ	55.6	16.3	22.9	5.2		46.9	19.3	27.6	6.2
SELJORDSVATN	61.6	15.1	19.3	3.7		32.5	14.8	47.8	4.8
STANDARD SAMMENSETN.	63.5	17.4	15.7	3.4		16.0	10.1	73.9	0

Tabell A3.

Midlere epilimnionkonsentrasjoner av fosfor og klorofyll a, samt siktedyp i perioden juni-oktober 1975-1978 for de angitte innsjøer.

Innsjø	Total fosfor $\mu\text{gP/l}$					Tot.klorofyll a. $\mu\text{gkl.a/l}$					Siktedyp m				
	-75	-76	-77	-78	\bar{X}	-75	-76	-77	-78	\bar{X}	-75	-76	-77	-78	\bar{X}
NORSJØ		6.0	5.9	6.3	6.1	1.4	1.6	1.6	1.9	1.6	6.9	8.9	7.7	6.3	7.5
HEDDALSVATN	10.0	8.1	8.0	8.7	8.7	2.0	2.5	2.2	2.6	2.3	5.3	7.3	6.1	5.5	6.1
TINNSJØEN	5.0	8.6	6.4	6.7	6.7		1.5	1.5	2.0	1.7	10.4	11.3	9.8	10.5	
MØSVATN	5.0	5.5	5.3	5.3	5.3		0.9		1.2	1.1	9.4		9.2	9.3	
KVITSEIDVATN	5.0	6.3	5.0	5.4	5.4		1.1	1.1	1.8	1.3	12.8	11.6	11.0	11.8	
SELJORDVATN	6.0	5.8	6.1	6.0	6.0		1.9	1.5	1.6	1.7	7.9	7.4	7.3	7.5	
SUNDKILEN		10.7	10.0	10.4	10.4			2.8	3.3	3.1		6.0	5.3	5.7	
BANDAK	5.0			5.0	5.0	0.8				0.8	10.0			10.0	
FLÅVATN	5.0			5.0	5.0		0.9			0.9	13.0			13.0	
FOLLSJØ	4.0			4.0	4.0		1.7			1.7	8.9			8.9	
OFTEVATN			7.4	7.4	7.4			2.1		2.1		5.7		5.7	
BORDALSVATN		3.8		3.8	3.8			0.7		0.7					

Tabell A4.

Midlere fosforkonsentrasjoner i elver. Resultatene fra elvstasjonene merket x, samt Austbygdåi, Mår, Gøyst, Måna og Vallaråi bygger på et års observasjoner i 1977/78. De andre elvene ble undersøkt i 1975/76.

x: Beregnet som volumetrisk middelkonsentrasjon

$$\frac{\text{årlig fosfortransport}}{\text{årlig vanstransport}}$$

0: Beregnet som aritmetrisk middelkonsentrasjon.

Elve- lokalitet	Fosfor konsentra- sjon																			
		Heddøla v/flyplassen	Tinnelva v/kloumansj.	Tinnelva v/innløp Hed.vn.	Hjukselva v/riksvegen	Sauerelva v/Nautesund	Sauerelva v/Akkerhaugen	Bøelva v/Øvrebrø bru	Bøelva v/Gvarv bru	Eidselva v/Ulefoss bru	Skienelva v/Skotfoss	Måna v/Mæl	Gøyst v/riksvegen	Mår v/riksvegen	Austbygdåi v/riksvegen	Hjartdøla v/bru	Tuddøla v/bru	Vallaråi v/bru	Morgedalsåi, før Dalaåi samløp	Dalaåi v/Nøsterud bru
TP	$\mu\text{g P/l}$	11,2	6,9	11,1	7,6	6,2	9,1	6,7	12,8	7,4	6,1	11,2	6,9	8,5	9,8	6,1	6,3	7,5	7,7	3,6
PP	"	6,5	4,2	5,3	3,5	3,9	5,6	4,0	8,2	4,6	3,7									
LIRP	"	3,4	1,5	3,1	3,0	1,4	2,5	1,7	2,4	2,1	1,7									
LRP	"	1,3	1,2	2,7	1,1	0,9	1,0	1,0	2,2	0,7	0,7									

x x x x x x x x x x x 0 0 0 0 0 0 0 0 0

Tabell A5.
Antall bunndyr av forskjellige grupper funnet ved bunndyrsunder
søkelsen i 1978 på de angitte elvestasjoner.

Organisme Stasjon	Knottlarver (Simuliidae)		Pjermugglarver (Chironomidae)		Fåbørstemark (Oligochaeta)		Vårfluelarver (Trichoptera)		Steinfluelarver (Plecoptera)		Døgnfluelarver (Ephemeroptera)		Snegler (Gastropoda)		Muslinger (Lamelli- branchia)		Igler (Hirudinea)		Diverse	
	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
Tinnelva opp- strøms Gransherad	587	64.3	114	12.5	6	0.7	10	1.1	9	1.0	124	13.6	5	0.5	49	5.4	0		9	1.0
Tinnelva nedstrøms Notodden	2	0.4	481	84.2	6	1.1	18	3.2	6	1.1	44	7.7	1	0.2	0		11		2	0.4
Heddøla nedstrøms Onnesfossen	175	24.1	77	10.6	13	1.8	5	0.7	116	16.0	334	46.1	2	0.3	0		0		3	0.4
Hedøyla ved Melås bru	12	7.1	39	23.7	5	3.0	4	2.4	33	19.6	75	44.6	0		0		0		0	
Morgedalsåi ned- strøms Morgedal Sentrum	1	0.2	216	52.3	10	2.4	6	1.5	62	15.0	76	18.4	39	9.4	0		1		2	0.4
Morgedalsåi ned- strøms Bakketjern	17	5.9	96	33.3	1	0.3	34	11.8	78	27.1	20	6.9	40	13.9	1	0.3	0		1	0.3
Morgedalsåi før samløp med Daleåi	11	4.7	6	2.6	0	0	6	2.6	79	33.9	127	54.5	4	1.7	0		0		0	
Daleåi før samløp med Morgedalsåi	3	1.6	18	9.5	11	5.8	30	15.8	37	19.5	53	27.9	25	13.2	6	3.2	0		7	3.7
Daleåi ved utløp i Sundkilen	15	8.7	5	2.9	6	3.5	2	1.2	79	45.9	52	30.2	10	5.8	0		0		3	1.7
Bøelva ved Øvrebø i Sundkilen	35	15.0	32	13.7	0	0	2	0.9	48	20.6	116	49.8	0		0		0		0	
Bøelva ved Manne- bru	9	3.4	18	6.7	13	4.9	45	16.9	48	18.0	109	40.8	0		0		0		25	9.4

Tabell A6.

Midlere eksport av fosfor og partikulært materiale fra 6 nedbørsfelt bestående av skog/myr/fjell, og fra jordbruksarealene i 12 nedbørsfelt med varierende andel (6-86%) dyrket mark. I eksportkoeffisienten fra jordbruksområder er all menneskelig aktivitet inkludert.

PP = Partikulært fosfor (>0.45 µm), LIRP = Løst ikke-reaktivt fosfor, LRP = Løst reaktivt fosfor (~ ortofosfat), summen av fraksjonene =TP = Totalfosfor, POM = Partikulært organisk materiale, PUM = Partikulært uorganisk materiale, summen POM + PUM = PM = partikulært materiale.

OMRÅDER		Skog/myr/fjell		JORDBRUKSOMRÅDER	
PARAMETER		EKSPORT		EKSPORT	
		mgP/m ² år	%	mgP/m ² år	%
FOSFOR- FRAKSJONER	TP	5.8		91.7	
	PP	3.1	53	64.0	67
	LIRP	1.9	33	9.0	11
	LRP	0.8	14	18.7	22
		g/m ² år	%	g/m ² år	%
PARTIKULÆRT MATERIALE	PM	0.8	50	40.4	
	POM	0.4	50	4.4	14
	PUM	0.4	50	36.0	86
		n=6			n=12

Tabell A7.

Transportverdier og volumetriske middelkonsentrasjoner av fosfor-komponenter og partikulært materiale i de angitte nedbørfelt. Nedbørfeltenes beliggenhet er vist i figur 22.

Tegnforklaring: TP=Total fosfor, PP=Partikulært fosfor, LIRP=Løst ikke reaktivt fosfor, LRP=Løst reaktivt fosfor(=ortofosfat), P vol = Volumetrisk middelkonsentrasjon av total fosfor, PM = Partikulært materiale, POM = Partikulært organisk materiale, PUM= Partikulært uorganisk materiale, PM vol = Volumetrisk middelkonsentrasjon av partikulært materiale.

Nedbørfelt	Areal km ²	Dyrka mark %	TP mgP/m ² år	PP		LIRP		LRP		[P] vol. µgP/l	PM g/m ² år	POM		PUM		[PM] vol mg/l
				mgP/m ² år	%	mgP/m ² år	%	mgP/m ² år	%			g/m ² år	%	g/m ² år	%	
9	3.87	45	42,9	28,5	66	5,4	13	9,0	21	113,2	11,23	0,75	10,48	93	29,82	
14	0,37	6	10,9	5,7	52	2,2	20	3,0	28	21,3	0,54	0,04	0,50	93	1,05	
6	8,41	0	9,0	5,0	56	2,2	24	1,8	20	7,0	1,54	0,65	0,89	58	1,20	
18	1,14	23	36,0	29,3	81	3,9	11	2,8	8	50,0	25,55	5,55	20,00	78	35,48	
5	5,92	0	4,6	2,2	46	1,9	43	0,5	11	8,0	0,54	0,28	0,26	48	0,95	
8	1,17	20	12,5	6,4	51	0,1	1	6,0	48	32,6	0,58	0,42	0,16	28	10,01	
2	0,41	0	3,4	1,9	56	1,3	38	0,2	6	4,9	0,38	0,27	0,11	29	0,54	
15	0,76	15	18,1	10,4	57	4,0	22	3,7	21	35,2	5,29	0,90	4,39	83	10,27	
4	6,68	0	5,6	3,7	66	1,4	25	0,5	9	7,3	1,04	0,35	0,69	66	1,36	
7	0,23	80	15,0	9,0	60	4,8	32	2,2	8	22,8	4,78	1,74	3,04	64	7,27	
3	9,74	0	6,2	2,7	44	3,0	48	0,5	8	7,9	0,53	0,39	0,14	26	0,68	
16	2,51	15	43,0	37,1	86	3,9	9	2,0	5	14,4	29,00	4,05	24,95	86	46,81	
17	1,12	53	41,6	35,5	85	3,4	8	2,7	7	12,4	23,88	0,50	23,30	98	71,30	
1	1,35	0	6,2	3,2	52	2,0	33	1,0	16	7,1	0,71	0,42	0,29	31	0,84	
11	0,79	37	111,5	74,7	67	14,5	13	22,3	20	498,0	14,13	2,92	11,21	79	63,08	
12	0,41	56	152,0	66,9	44	24,2	16	60,8	40	8014,0	13,82	2,37	11,45	83	708,13	
10	0,54	11	16,3	8,31	51	3,7	23	4,1	25	23,7	3,07	0,88	2,19	71	4,46	
13	3,74	30	10,1	4,9	49	1,0	10	4,2	41	134,0	12,71	1,25	11,46	90	169,22	

Tabell A8.

Oversikt over antall mennesker og dyr og fosfortilførsler fra disse til typeområdene med jordbruk. Fosfortilførslene er uttrykt som ekvivalenter. En ekvivalent er satt til 1 kgP/år. Dette tilsvarer åratilførselen fra et menneske. Beregning av tilførsel fra dyr er gjort ved omregningstabell gitt i Ahl & Wiederholm 1977.

Hedderfelt	Ant.pers.	Kloakkavløp		Storfe		Gris		Høner	Sau	Σ ekvivalenter	Ekv./km ² jordbruksareal
		direkte utsl.	infiltr.	melkekyr	ungdyr	avlsgris	slaktegris				
13	86	31	55		5	2	16	2400		233	171
12	25	10	15	18	35	3	20	19		296	836
11	27	19	8	3	5			2100		154	524
10	8		8							8	131
7	4		4	5		16			2	94	505
8	77	18	59	8	5	16	150	300		350	1489
18	11	3	8	4						33	124
9	123	76	47			60	280	4750		829	472
17	30	25	5							30	51
16	19	18	1	6	29	8	5	100		208	379
14	5	5								5	81
15	14	5	9							14	122

Tabell A9. Morfometriske og hydrologiske data for en del av Telemarksjøene.

	Nedbørfelt km ²	Volum x10 ⁶ m ³	Overflate km ²	Teoretisk opp- holdstid år	Middeldyp m	Årlig av- løp. x10 ⁶ m ³ /år
Heddalsvatn	5097	441	11,8	0,1	37,1	4237
Norsjø	9975	5100	58	0,55	87,3	9398
Kviteseidvatn	3060	1280	14	0,43	93	2992
Tinnsjøen	3826	9700	51	2,9	190	3296
Seljordsvatn	885	872	12,9	1,0	67,6	840
Sundkilen før reg.	362	35,1	2,5	0,13	14	278
Sundkilen etter reg.	181	35,1	2,5	0,28	14	126